

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Erosão Hídrica do Solo no contexto
da REN em Lisboa e Vale do Tejo**

Carolina Ribeiro de Oliveira

Relatório de Estágio orientado pelo
Prof. Doutor Eusébio Reis

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
aplicados ao Ordenamento

2020

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Erosão Hídrica do Solo no contexto
da REN em Lisboa e Vale do Tejo**

Carolina Ribeiro de Oliveira

Relatório de Estágio orientado pelo
Prof. Doutor Eusébio Reis

Júri:

Presidente: Professor Doutor Ricardo Alexandre Cardoso Garcia do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professora Doutora Maria José Leitão Barroso Roxo da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa
- Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que estiveram por perto e me acompanharam nesta minha caminhada.

Ao meu orientador, Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis, um muito obrigado pela excelente orientação, por toda a paciência, e por todo o conhecimento que me transmitiu sobre este tema ao longo deste ano. Sem esta disponibilidade e orientação não teria sido a mesma coisa.

À Agência Portuguesa do Ambiente, pela oportunidade de estágio assim como à realização deste trabalho. Agradeço à DPI que tão bem me acolheu, um muito obrigado à Eng. Isabel Maria Guilherme e à Sofia Vaz Tainha por todo o acompanhamento e apoio ao longo do estágio. Um grande obrigado aos colegas que me acompanharam, Carla Guerreiro, Cristina Soares, Conceição Ramos, Rui Abreu, Catarina Patriarca, Joana Bustorff e Isabel Patriarca, toda a vossa ajuda foi fundamental para a realização deste trabalho.

À minha mãe e à minha irmã por estarem sempre presentes em todos os momentos da minha vida e pelo apoio incondicional.

À minha família, por todo o carinho e apoio dado ao longo destes anos, em especial aos meus tios Fofos e primos que me acolheram tão bem.

Aos meus amigos e ao meu namorado, que me motivaram muitas vezes para terminar o relatório, que me distraíam quando mais precisava, que sempre ouviram os meus problemas e me ajudaram em tudo o que era preciso. Muito obrigado!

Aos meus colegas e amigos da faculdade, Ricardo, Daniela, Andreia, Miguel, André, Mirandela, por todos os bons momentos passados e toda a vossa ajuda. Um obrigado não chega por todo o apoio dado ao longo deste tempo!

Resumo

O presente relatório de estágio apresenta o tema sobre a erosão hídrica do solo no contexto da Reserva Ecológica Nacional (REN) em Lisboa e Vale do Tejo, com destaque particular para três municípios pertencentes a esta região: Alenquer, Azambuja e Cadaval.

Este trabalho foi elaborado no âmbito da unidade curricular de estágio profissional na Agência Portuguesa do Ambiente (APA), especificamente na Divisão de Planeamento e Informação (DPI) da Administração da Região Hidrográfica do Tejo e Oeste (ARHTO), que decorreu de novembro de 2018 a março de 2019.

Com este trabalho, pretende-se compreender quais as dificuldades na delimitação do risco de erosão hídrica do solo, a nível regional e municipal, fornecendo informação que permita uma melhor identificação destas áreas no contexto da Reserva Ecológica Nacional (REN). Assim efetuou-se a comparação de três metodologias para avaliação da erosão hídrica do solo: Monturiol, definida no Quadro de Referência Regional da REN da CCDR-LVT (2009); A Perda de Solo Específico, de acordo com as Orientações Estratégicas de Âmbito Nacional e Regional (OENR) aprovadas pela RCM n.º 81/ 2012, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012; A Erosão Potencial do Solo segundo a Portaria n.º 336/2019 de 26 de setembro, que se encontra atualmente em vigor.

Ao longo destas metodologias, nas quais se têm alterado alguns parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), verificou-se que existem alguns problemas com aplicação da EUPS, bem como o facto de os limiares de corte manterem-se inalterados, apesar dessas alterações. Deste modo, procedeu-se a alguns testes com o objetivo de demonstrar as diferenças entre metodologias exatamente com o mesmo limiar definido.

A delimitação da Reserva Ecológica Nacional é fundamental para o planeamento e ordenamento do território, assim generalizou-se os resultados finais com o objetivo de homogeneizar as manchas de erosão que integrem a REN.

PALAVRAS-CHAVE: Reserva Ecológica Nacional, Erosão Hídrica do Solo, Equação Universal de Perda de Solo, Lisboa e Vale do Tejo.

Abstract

The subject of this professional internship report lies upon the soil erosion by water, in the Reserva Ecológica Nacional (REN), in Lisbon and Tagus Valley region, with particular focus on three municipalities included in this region, Alenquer, Azambuja e Cadaval.

This report was developed in the scope of the curricular unit of the professional internship at *Agência Portuguesa do Ambiente* (APA), on the *Divisão de Planeamento e Informação* (DPI) da *Administração da Região Hidrográfica do Tejo e Oeste* (ARHTO), during the period from november of 2018 to march 2019.

This report's main goal is to understand the constraints on the delimitation of the risk of the soil's hydric erosion, on a municipal and regional scale. This was achieved through a comparison between three working methodologies: Monturiol, in *Quadro de Referência Regional da REN da CCDR-LVT* (2009); Specific Soil Loss, in accordance with the *Orientações Estratégicas de Âmbito Nacional e Regional* (OENR) approved by *RCM n.º 81/ 2012*, rectified by the *Declaração de Retificação n.º 71/2012*; Potential Soil Erosion which complies with the most up to date legal piece, *Portaria n.º 336/2019 de 26 de setembro*.

There have been a few changes in these methodologies, due to the adjustment of the parameters of the Universal Soil Loss Equation (USLE). A few limitations arose on the application of the USLE, even if the thresholds stood static. Following this issue, some tests were run with the goal to display the variation between methodologies with the same exact defined threshold.

The geographical demarcation of the *Reserva Ecológica Nacional* is the key point for planning and land management, so, in order to homogenize the erosion spots in the REN a resort to the generalization of the final results was performed.

KEY-WORDS: *Reserva Ecológica Nacional*, Soil Erosion by water, Universal Soil Loss Equation, Lisbon and Tagus Valley region.

Résumé

Ce rapport de stage aborde le sujet de l'érosion hydrique des sols dans le cadre de la *Reserva Ecológica Nacional* (REN) de Lisbonne et de la Vallée du Tejo, avec un accent particulier sur trois municipalités appartenant à cette région, notamment Alenquer, Azambuja et Cadaval.

Ce travail a été conçu dans le cadre de stage professionnel à l'*Agência Portuguesa do Ambiente* (APA), en particulier dans la *Divisão de Planeamento e Informação* (DPI) da *Administração da Região Hidrográfica do Tejo e Oeste* (ARHTO), qui a eu lieu entre novembre 2018 et mars 2019.

Ce travail vise à comprendre les difficultés à délimiter le risque d'érosion hydrique des sols aux niveaux régional et municipal. Ainsi, trois méthodes d'évaluation de l'érosion hydrique des sols ont été comparées: Monturiol, défini dans le *Quadro de Referência Regional da REN da CCDR-LVT* (2009); Perte de Sol Spécifique, conformément aux *Orientações Estratégicas de Âmbito Nacional e Regional* (OENR) approuvées par la *RCM n.º 81/ 2012*, rectifiées par la *Declaração de Retificação n.º 71/2012*; L'Érosion Potentielle des Sols conformément à la *Portaria n.º 336/2019* du 26 septembre, qui est actuellement en vigueur.

Dans toutes ces méthodologies, dont certains paramètres de l'Équation Universelle de Perte de Sol (EUPS) ont changé, il a été constaté que l'application de EUPS posait quelques problèmes, autant que le fait que les seuils restent inchangés. Ainsi, certains tests ont été réalisés pour démontrer les différences entre les méthodologies ayant exactement le même seuil défini.

La délimitation de la *Reserva Ecológica Nacional* est fondamentale pour la planification et l'aménagement du territoire, de cette façon les résultats finaux ont été généralisés afin d'homogénéiser les taches d'érosion qui intègrent le REN.

MOTS-CLÉS: *Reserva Ecológica Nacional*, Érosion Hydrique des Sols, Équation Universelle de Pertes de Terre, Lisbonne et la Vallée du Tejo.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Résumé.....	iv
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Quadros.....	x
Acrónimos e Siglas.....	xi
Introdução.....	1
Entidade de Acolhimento do Estágio - Agência Portuguesa do Ambiente.....	3
1. Erosão Hídrica do Solo no Contexto da Reserva Ecológica Nacional.....	5
1.1. Reserva Ecológica Nacional.....	5
1.1.1. Delimitação da REN dos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	10
1.2. Erosão Hídrica do Solo	11
1.2.1. Erosão do Solo	11
1.2.2. Erosão Hídrica do Solo	12
2. Caracterização da Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	15
2.1.1. Caracterização dos municípios	19
3. Metodologias e Informação Geográfica	25
3.1. Metodologias	25
3.2. Informação Geográfica	29
3.2.1. Tratamento e Preparação dos Dados	30
3.2.2. Criação do Modelo Digital do Terreno.....	31
4. Avaliação da Suscetibilidade à Erosão Hídrica do Solo	33
4.1. À Escala Regional	33
4.1.1. Metodologia do Quadro de Referência Regional (QRR).....	33
4.1.2. Portaria N.º336/2019	35
4.1.3. Comparação dos Resultados	40
4.2. À Escala Municipal	41
4.2.1. Erosividade da Precipitação (Fator R).....	42
4.2.2. Erodibilidade dos Solos (Fator K).....	44
4.2.3. Fator Topográfico (Fator LS)	46
4.2.3.1. USLE (Universal Soil Loss Equation).....	46
4.2.3.2. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)	51
4.2.4. Fator C e P	55

4.2.5.	Erosão específica do solo (A) e Perda de Solo Específico (Pse).....	60
4.2.6.	Erosão potencial do solo (EPS)	63
4.2.7.	Classificação dos Resultados e Limiares de Corte	64
4.2.8.	Generalização das Manchas Resultantes da Erosão Hídrica	68
4.2.9.	Comparação dos Resultados	75
5.	Considerações Finais	77
	Referências	81
	Bibliografia	81
	Legislação.....	85
	Anexos	86

Índice de Figuras

Figura 1 - Polos da Administração da Região Hidrográfica do Tejo e Oeste (ARHTO).....	4
Figura 2 - Fatores que controlam a erosão do solo.....	11
Figura 3 – Circulação da água nas vertentes.....	12
Figura 4 – Representação de três tipos de erosão hídrica numa encosta.....	13
Figura 5 - Limites administrativos e concelhos da Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	15
Figura 6 - Evolução da população residente na região de Lisboa e Vale do Tejo.....	16
Figura 7 - Densidade populacional na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2018.....	16
Figura 8 - Áreas Protegidas da Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	17
Figura 9 - Hidrografia da Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	18
Figura 10 - Municípios da área de estudo (Alenquer, Azambuja e Cadaval).....	19
Figura 11 - Altitude (m) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	21
Figura 12 – Declives (graus) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	21
Figura 13 – Principais cursos de água nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	22
Figura 14 - Ocupação do Solo (2015) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	24
Figura 15 - Amostra da edição das curvas de nível dos três municípios.....	31
Figura 16 - Modelo Digital do Terreno em TIN.....	32
Figura 17 – Declives (%) na Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	33
Figura 18 - Erodibilidade dos Solos (Fator K, em $t.ha.h.ha^{-1}.Mj^{-1}.mm^{-1}$) na Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	34
Figura 19 - Risco elevado e muito elevado à erosão hídrica com base na metodologia do Quadro de Referência Regional.....	35
Figura 20 - Fator de erosividade da precipitação (Fator R, em $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) na RLVT (Fonte: JRC).....	36
Figura 21 - Fator de erodibilidade dos solos (Fator K, em $t.ha.h.ha^{-1}.Mj^{-1}.mm^{-1}$) na Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	37
Figura 22 - Fator topográfico (LS) na Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	38
Figura 23 – Erosão Hídrica Potencial (EHP) na Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	39
Figura 24 - Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo a considerar em REN na Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	39
Figura 25 - Áreas a integrar em REN na Região de Lisboa e Vale do Tejo, de acordo com as metodologias do Quadro de Referência Regional e a Portaria n.º336/2019.....	41
Figura 26 – Erosividade da precipitação (Fator R, em $T.pé/acre$) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval (INAG, 2003).....	43

Figura 27 – Erosividade da Precipitação (Fator R, em MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval (Pena, 2016).....	44
Figura 28 – Erodibilidade dos solos (Fator K) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	45
Figura 29 – Extensão das vertentes (λ), em metros, nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	47
Figura 30 – Expoente m, dependente do declive nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	48
Figura 31 – Declives (radianos) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	49
Figura 32 - Fator LS, segundo a equação da USLE (RCM n.º81/2012), nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	50
Figura 33 - Extensão das vertentes (λ), em metros (RUSLE) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	52
Figura 34 – Expoente m, dependente do declive (RUSLE) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	53
Figura 35 - Fator LS segundo a equação da RUSLE (Portaria n.º336/2019) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	55
Figura 36 - Carta de Ocupação do Solo (COS 2015) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	56
Figura 37 – Fator de uso do solo e coberto vegetal (C) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	58
Figura 38 - Fator antrópico (P) baseado na densidade populacional nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	59
Figura 39 – Erosão Hídrica do Solo Real, segundo a metodologia da Resolução do Conselho de Ministros nº81/2012 nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	60
Figura 40 – Razão de Cedência de Sedimentos (SDR) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	61
Figura 41 – Perda de solo específico (Pse) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	62
Figura 42 - Erosão Hídrica Potencial do Solo, segundo a metodologia da Portaria N.º 336/2019 nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	63
Figura 43 – Áreas a incluir em REN (Perda de solo específico) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	65
Figura 44 - Áreas a incluir em REN (Erosão Hídrica Potencial do Solo) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	66
Figura 45 - Área a incluir em REN de acordo com o cálculo da EHP, com base em um limiar de corte de 17 ton/ha.ano nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	67

Figura 46 - <i>Modelbuilder</i> : Modelo 1 do processo de generalização	68
Figura 47 - <i>Modelbuilder</i> : Modelo 2 do processo de generalização	69
Figura 48 - <i>Modelbuilder</i> : Modelo 3 do processo de generalização	69
Figura 49 - <i>Modelbuilder</i> : Modelo 4 do processo de generalização	70
Figura 50 – Generalização da Perda de Solo Específica (Pse) a 1 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	71
Figura 51 – Generalização da Erosão Hídrica Potencial do Solo (EHP) a 1 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	71
Figura 52 - Fluxograma do processo de generalização considerando o valor de 0,5 ha	72
Figura 53 - Generalização da Perda de Solo Específica (Pse) a 0,5 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	73
Figura 54 - Generalização da Erosão Hídrica Potencial do Solo (EHP) a 0,5 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.....	74
Figura 55 – Comparação entre as áreas a integrar em REN de acordo com as metodologias da RCM n.º81/2012 e a Portaria n.º336/2019 nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval...	76

Índice de Quadros

Quadro 1 - Evolução das definições de REN.....	5
Quadro 2 – Áreas incluídas na REN (Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março)	6
Quadro 3 - Tipologias integradas na Reserva Ecológica Nacional.....	8
Quadro 4 – Frequência dos tipos de solo (Carta de Solos - DGADR) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	23
Quadro 5 – Frequência das classes de Ocupação do Solo (2015) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	24
Quadro 6 - Metodologias utilizadas para o cálculo da erosão hídrica do solo	25
Quadro 7 - Classificação dos fatores e respetivas classes de suscetibilidade à erosão hídrica do solo.....	26
Quadro 8 - Informação geográfica à escala regional	29
Quadro 9 - Informação geográfica à escala municipal	30
Quadro 10 - Comparação entre as áreas a integrar em REN segundo as duas metodologias utilizadas (QRR e EHP)	40
Quadro 11 - Valores a atribuir ao parâmetro m.....	47
Quadro 12 - Valores do Fator C (COS 2015).....	57
Quadro 13 – Frequência (%) de cada valor do Fator C	58
Quadro 14 - Valores a atribuídos ao Fator P	59
Quadro 15 – Frequência (%) das classes de A (EHR) e Pse.....	62
Quadro 16 – Frequência (%) das classes de A (EHP).....	63
Quadro 17 - Classificação qualitativa da Perda de Solo Específico	64
Quadro 18 - Comparação dos resultados generalizados e não generalizados (1 ha)	70
Quadro 19 - Comparação dos resultados generalizados e não generalizados (0,5 ha).....	73
Quadro 20 - Comparação entre as áreas a integrar em REN segundo as duas metodologias utilizadas (Pse e EHP)	75

Acrónimos e Siglas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AEREHS – Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo

CCDR - Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CNREN – Comissão Nacional da REN

CNT – Comissão Nacional do Território

COS – Carta de Ocupação do Solo

DGADR – Direção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural

DGT – Direção Geral do Território

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

EPS – Erosão Potencial do Solo

EHR – Erosão Hídrica Real

INAG – Instituto da Água

MDT – Modelo Digital do Terreno

OENR - Orientações Estratégicas de âmbito Nacional e Regional

PDM – Plano Diretor Municipal

Pse – Perda Específica do Solo

PU – Plano de Urbanização

RAN – Reserva Agrícola Nacional

RCM – Resolução de Conselho de Ministros

REN – Reserva Ecológica Nacional

RJREN - Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional

SDR – Razão de Cedência de Sedimentos

SI – Sistema Internacional

SSSA - Soil Science Society of America

Introdução

Em Portugal, a erosão hídrica é o tipo de degradação do solo mais comum, constituindo um problema ambiental bastante preocupante, o qual pode, em situações extremas, conduzir a um processo de desertificação no território.

Neste contexto, a Reserva Ecológica Nacional (REN) instituída pelo Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho, detém um papel essencial relativamente à proteção e preservação da estrutura biofísica para a utilização e exploração dos recursos do território, tornando-se um instrumento fundamental para o ordenamento do território.

O Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março, revogou o Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho, com o intuito de corrigir e clarificar alguns elementos, mantendo os princípios fundamentais da REN.

Em 2008, com o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto efetuou-se uma revisão profunda do Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional (RJREN) a fim de clarificar as tipologias das áreas a integrar na REN. Deste modo, estas áreas dividem-se em três grupos: áreas de proteção do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e áreas de prevenção de riscos naturais. É neste Decreto-Lei que as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo passam a integrar a REN, pertencendo ao grupo das áreas de prevenção de riscos naturais. Considera-se que para a delimitação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo (AEREHS) é necessário ter em conta “o declive e a erodibilidade média dos solos”¹.

Posteriormente, de acordo com o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro, para delimitar as AEREHS no âmbito da REN, deve-se considerar “a erosividade da precipitação, a erodibilidade média dos solos, a topografia, o uso do solo e a ocupação humana”². Assim, a delimitação destas áreas apoia-se na aplicação da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) publicada em 1978 no *Agriculture Handbook 537*, dos autores Wischmeier & Smith, tendo sido adaptada para Portugal continental.

No presente relatório, serão tidas em conta as recomendações, da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT), da Comissão Nacional do Território (CNT) e a Portaria n.º 336/2019, que clarificam e introduzem alterações no processo de cálculo.

O principal objetivo deste projeto consiste em avaliar a suscetibilidade à erosão hídrica do solo e identificar áreas de elevado risco no contexto da Reserva Ecológica

¹ Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, Anexo I, Secção III, Áreas de prevenção de riscos naturais, alínea d

² Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro, Anexo I, Secção III, Áreas de prevenção de riscos naturais, alínea d

Nacional (REN) para a Região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT), bem como para três municípios – Alenquer, Azambuja e Cadaval – verificando o impacto que as diversas alterações da legislação têm tido nos resultados em municípios com diferentes características.

Deste modo, o presente relatório encontra-se estruturado em 4 capítulos:

No capítulo 1 é feito um breve resumo histórico da erosão hídrica do solo no contexto da lei da Reserva Ecológica Nacional, desde a sua criação até a atualidade, e apresenta-se ainda o conceito de erosão do solo e erosão hídrica do solo.

O capítulo 2 contém um enquadramento regional da RLVT, assim como o enquadramento dos municípios escolhidos – Alenquer, Azambuja e Cadaval - para efetuar o cálculo das Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo (AEREHS), designadamente Alenquer, Azambuja e Cadaval.

No capítulo 3 são apresentadas as metodologias e a informação geográfica utilizadas nos diversos processos de cálculo das AEREHS.

Por fim, o capítulo 4 inclui uma avaliação crítica dos resultados obtidos, verificando o impacto que as diversas alterações da legislação têm tido nos resultados em municípios com diferentes características. Ainda compreende um subcapítulo com incidência nos limiares de corte e na generalização das manchas de erosão hídrica do solo.

Entidade de Acolhimento do Estágio - Agência Portuguesa do Ambiente

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) tem como missão “propor, desenvolver e acompanhar a gestão integrada e participada das políticas de ambiente e de desenvolvimento sustentável”, trabalhando de forma articulada com outras entidades públicas e privadas na “proteção e valorização dos sistemas ambientais”. Visa “contribuir para o desenvolvimento sustentável de Portugal” produzindo relatórios que demonstram o estado atual do meio ambiente e que pretendem influenciar futuras políticas ambientais. Deste modo, a APA detém 5 objetivos estratégicos³:

- 1) Aumentar o nível de proteção, recuperação e valorização dos ecossistemas;
- 2) Aumentar o nível de proteção de pessoas e bens face a situações de risco;
- 3) Melhorar o conhecimento e a informação sobre o ambiente;
- 4) Reforçar a participação pública e assegurar o envolvimento das instituições;
- 5) Garantir a excelência no desempenho das competências atribuídas.

O presente relatório reúne as atividades que foram desenvolvidas no estágio, de novembro de 2018 a março de 2019, na Agência Portuguesa do Ambiente, na Sede da Administração da Região Hidrográfica do Tejo e Oeste (ARHTO), na Divisão de Planeamento e Informação (DPI). Para além da sede, existem outros polos que pertencem à ARHTO (Figura 1). Relativamente aos objetivos do departamento⁴, evidenciam-se a elaboração e o acompanhamento da implementação dos planos de gestão de bacia hidrográfica e dos planos específicos de gestão das águas, apoiar a gestão de sistemas de informação e o seu desenvolvimento, proteger e a valorizar dos recursos hídricos e cooperar na descrição do programa de monitorização para a respetiva região hidrográfica.

³ Disponíveis em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=5&subref=635#>

⁴ Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., Despacho n.º 7714/2013

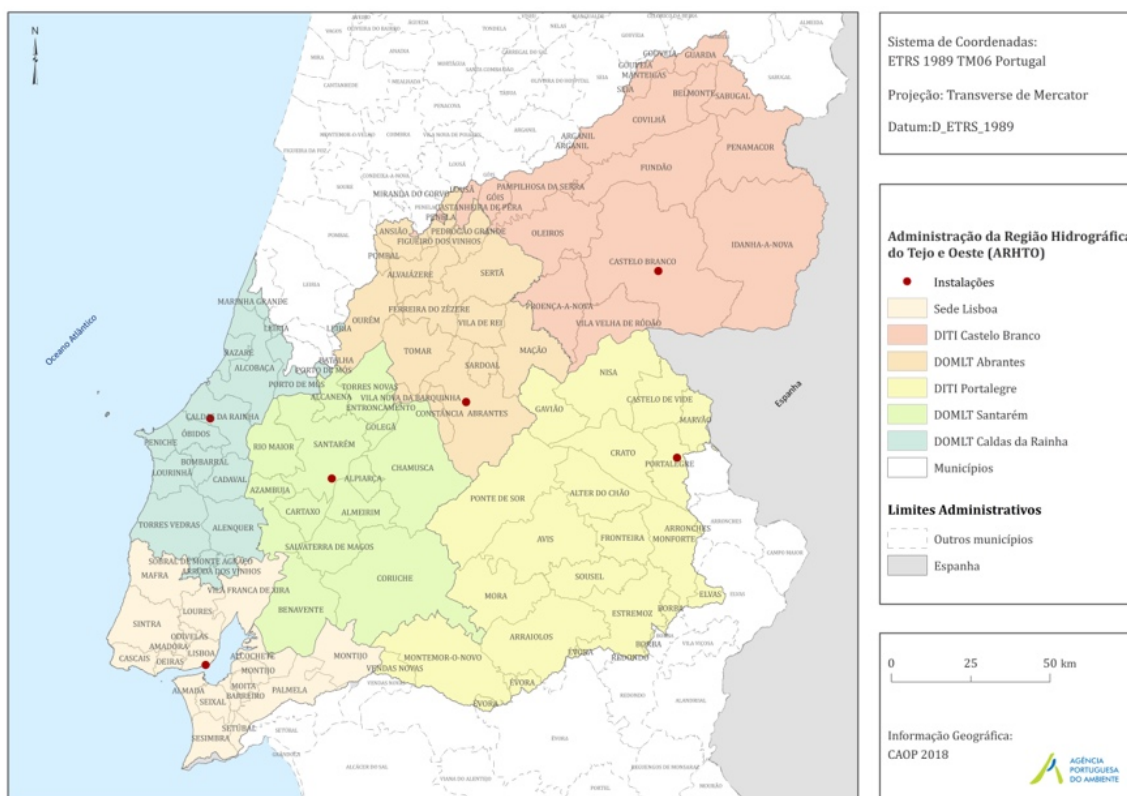


Figura 1 - Polos da Administração da Região Hidrográfica do Tejo e Oeste (ARHTO)

1. Erosão Hídrica do Solo no Contexto da Reserva Ecológica Nacional

1.1. Reserva Ecológica Nacional

Em 1983, foi criada a Reserva Ecológica Nacional (REN) através do Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho, no seguimento da institucionalização da Reserva Agrícola Nacional (RAN), em que se consagrou o solo agrícola como valor patrimonial. O propósito da REN era preservar “a estrutura biofísica necessária para que se possa realizar a exploração dos recursos e a utilização do território sem que sejam degradadas determinadas circunstâncias e capacidades de que dependem a estabilidade e fertilidade das regiões, bem como a permanência de muitos dos seus valores económicos, sociais e culturais” (Artigo 1.º, Decreto-Lei n.º 321/83), integrando 2 grupos de ecossistemas: Costeiros e Interiores. A partir desse ano, a RAN e a REN tornaram-se instrumentos fundamentais para o ordenamento do território, à escala nacional.

A definição de Reserva Ecológica Nacional foi evoluindo ao longo da legislação (Quadro 1); este termo integra uma das componentes da Rede Fundamental da Conservação da Natureza e, constitui também uma componente essencial para o Plano Setorial de Prevenção e Redução de Riscos.

Quadro 1 - Evolução das definições de REN

Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho (Artigo 1.º)	Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março (Artigo 1.º)	Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto (Artigo 2.º)
<ul style="list-style-type: none">• Áreas indispensáveis à estabilidade ecológica do meio e à utilização racional dos recursos naturais tendo em vista o correto ordenamento do território.	<ul style="list-style-type: none">• Estrutura biofísica básica e diversificada que, através do condicionamento à utilização de áreas com características ecológicas específicas, garante a proteção de ecossistemas e a permanência e intensificação dos processos biológicos indispensáveis ao enquadramento equilibrado das atividades humanas.	<ul style="list-style-type: none">• Estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e suscetibilidade perante riscos naturais, são objeto de proteção especial.• Restrição de utilidade pública, à qual se aplica um regime territorial especial que estabelece um conjunto de condicionamentos à ocupação, uso e transformação do solo, identificando os usos e as ações compatíveis com os objetivos desse regime nos vários tipos de áreas.

Sendo um instrumento fundamental para o ordenamento do território, a REN passou a delimitar todas as ações que possam diminuir ou até destruir as potencialidades ecológicas, designadamente escavações, construções e a vida animal. Nos instrumentos relativos à ocupação do território, como Planos Diretores Municipais (PDM) e Planos de

Urbanização (PU) passaram a estar obrigatoriamente as áreas que se encontram integradas na REN.

Sete anos após a instituição da REN e com intuito de corrigir e esclarecer alguns elementos, preservando os seus princípios fundamentais, foi publicado o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março. O conceito de REN foi alterado conforme se encontra no Quadro 1, assim, é fundamental a existência de uma estrutura biofísica para a proteção dos ecossistemas. No presente diploma, enquadram-se no espaço definido como REN as seguintes áreas (Quadro 2):

- 1) Zonas costeiras;
- 2) Zonas ribeirinhas, águas interiores e áreas de infiltração máxima ou de apanhamento;
- 3) Zonas declivosas.

Quadro 2 – Áreas incluídas na REN (Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março)

Zonas Costeiras	Zonas ribeirinhas, águas interiores e áreas de infiltração máxima ou de apanhamento	Zonas declivosas
a) Praias;	a) Leitos dos cursos de água e zonas ameaçadas pelas cheias;	a) Áreas com riscos de erosão, são áreas que se encontram sujeitas à perda de solo, deslizamentos ou quebra de blocos devido às características do solo e do subsolo, uso do solo, declive, dimensão da vertente, entre outros fatores suscetíveis a alterações como o coberto vegetal e às práticas agrícolas;
b) Dunas Litorais;	b) Lagoas, suas margens naturais e zonas húmidas adjacentes;	b) Escarpas, são vertentes rochosas que possuem um declive superior a 45°, integram a REN apenas com uma determinada dimensão.
c) Arribas ou falésias, incluindo faixas de proteção;	c) Albufeiras e uma faixa de proteção delimitada a partir do regolho máximo;	
d) Na ausência de dunas ou arribas, uma faixa que assegure a proteção eficaz da zona do litoral;	d) Cabeceiras das linhas de água;	
e) Faixa ao longo de toda a costa marítima;	e) Áreas de máxima infiltração;	
f) Estuários, lagoas, lagoas costeiras e zonas húmidas adjacentes;	f) Ínsuas.	
g) Ilhas, ilhéus e rochedos emersos do mar;		
h) Sapais;		
i) Restingas;		
j) Tómbolos.		

Elaborado com base no Anexo I, do Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março.

Este Decreto-Lei foi sofrendo algumas alterações enquanto esteve em vigor designadamente:

▪ Decreto-Lei n.º 213/92, de 12 de outubro

Para a delimitação de áreas a integrar na REN, “são especificamente demarcadas em todos os instrumentos de planeamento que definam ou determinem a ocupação física do solo, designadamente planos regionais e municipais de

ordenamento do território” (Artigo 10.º). Ao longo desta figura legislativa, é visível a crescente importância destes planos.

▪ Decreto-Lei n.º 180/2006, de 6 de setembro

Mais de 20 anos após a criação da REN, foi alterado e republicado o regime jurídico criado pelo Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março. Em suma, o presente decreto veio apresentar os usos e as “Ações insuscetíveis de prejudicar o equilíbrio ecológico das áreas integradas na Reserva Ecológica Nacional” (Anexo IV), clarificando para cada caso, as regras e os critérios para a sua delimitação.

Em 2008, com o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, efetuou-se uma revisão profunda e global do Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional (RJREN) com o objetivo de poder articular com outros regimes jurídicos e clarificar as tipologias de áreas a integrar na REN. Deste modo, este diploma pretende contribuir para o uso e ocupação sustentáveis do território, possuindo os seguintes objetivos:

- a) Proteger os recursos naturais água e solo, bem como salvaguardar sistemas e processos biofísicos associados ao litoral e ao ciclo hidrológico terrestre, que asseguram bens e serviços ambientais indispensáveis ao desenvolvimento das atividades humanas;
- b) Prevenir e reduzir os efeitos da degradação da recarga de aquíferos, dos riscos de inundação marítima, de cheias, de erosão hídrica do solo e de movimentos de massa em vertentes, contribuindo para a adaptação aos efeitos das alterações climáticas e acautelando a sustentabilidade ambiental e a segurança de pessoas e bens;
- c) Contribuir para a conectividade e a coerência ecológica da Rede Fundamental de Conservação da Natureza;
- d) Contribuir para a concretização, a nível nacional, das prioridades da Agenda Territorial da União Europeia nos domínios ecológico e da gestão transeuropeia de riscos naturais.

A delimitação da REN, efetua-se em dois níveis, de acordo com termos do regime jurídico:

- Nível estratégico – realiza-se através de orientações de âmbito nacional e regional, pela Comissão Nacional da REN (CNREN) e pelas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR);
- Nível operativo – realiza-se através da elaboração de cartas para delimitar, no âmbito municipal, as áreas integradas na REN. Este nível segue os critérios de

delimitação do Anexo I, Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto e as orientações estratégicas de âmbito nacional e regional.

Neste diploma, as tipologias das áreas integradas na REN (Quadro 3) encontram-se agrupadas em três grupos distintos de acordo com a sua finalidade, designadamente:

- 1) Áreas de proteção do litoral;
- 2) Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre;
- 3) Áreas de prevenção de riscos naturais.

Quadro 3 - Tipologias integradas na Reserva Ecológica Nacional

Áreas de proteção do litoral	Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre	Áreas de prevenção de riscos naturais
a) Faixa marítima de proteção costeira; b) Praias; c) Barreiras detríticas (restingas, barreiras soldadas e ilhas-barreira); d) Tómbolos; e) Sapais; f) Ilhéus e rochedos emersos no mar; g) Dunas costeiras e dunas fósseis; h) Arribas e respetivas faixas de proteção; i) Faixa terrestre de proteção costeira; j) Águas de transição e respetivos leitos; k) Faixas de proteção das águas de transição.	a) Cursos de água e respetivos leitos e margens; b) Lagoas, lagos e respetivos leitos, margens e faixas de proteção; c) Albufeiras que contribuam para a conectividade e coerência ecológica da REN, com os respetivos leitos, margens e faixas de proteção; d) Áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos.	a) Zonas adjacentes; b) Zonas ameaçadas pelo mar não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos; c) Zonas ameaçadas pelas cheias não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos; d) Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo; e) Áreas de instabilidade de vertentes.

Elaborado com base no Anexo I, do Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto.

No contexto do presente trabalho, uma das inovações deste Decreto-Lei é inserção das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo. Assim, de acordo com a alínea d, Secção III, Anexo 1, do DL n.º166/2008, as Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo (AEREHS) definem-se como “áreas que, devido às suas características de solo e de declive, estão sujeitas à perda excessiva de solo por ação do escoamento superficial”. Para a delimitação destas áreas, é preciso considerar “o declive e a erodibilidade média dos solos resultante da sua textura, estrutura e composição” e para incluir as mesmas em área de REN refere-se particularmente quatro objetivos:

- i. Conservação do recurso solo;
- ii. Manutenção do equilíbrio dos processos morfogénéticos e pedogénéticos;

- iii. Regulação do ciclo hidrológico através da promoção da infiltração em detrimento do escoamento superficial;
- iv. Redução da perda de solo, diminuindo a colmatção dos solos a jusante e o assoreamento das massas de água.

O Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, sofreu algumas alterações nomeadamente:

- Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro

Este Decreto-Lei altera os procedimentos no que diz respeito à delimitação das áreas a integrar na REN: “elimina a obrigatoriedade dos municípios de procederem à adaptação das delimitações da REN a nível municipal àquelas orientações estratégicas”. É neste DL que a delimitação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo é alterada, assim passou-se a considerar os seguintes elementos para o cálculo: “a erosividade da precipitação, a erodibilidade média dos solos, a topografia, o uso do solo e a ocupação humana” (Alínea d, Secção III, Artigo 4.º).

Contudo é obrigatório para a aprovação dos planos diretores municipais que a delimitação municipal da REN siga as orientações estratégicas de âmbito nacional e regional, aprovadas pela Resolução do Conselho de Ministro n.º 81/2012, de 3 de outubro, e retificadas pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro.

- Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de maio

Neste Decreto-Lei são desenvolvidas “as bases da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo, definindo o regime de coordenação dos âmbitos nacional, regional, intermunicipal e municipal do sistema de gestão territorial, o regime geral de uso do solo e o regime de elaboração, aprovação, execução e avaliação dos instrumentos de gestão territorial”. São anulados os artigos 28º a 31º do Decreto-Lei nº 166/2008, de 22 de agosto, relacionados com a Comissão Nacional da REN (CNREN) e surge a Comissão Nacional do Território (CNT).

No quadro da REN, em julho de 2015 surgiu o Guia Metodológico para a Delimitação da Reserva Ecológica Nacional em Lisboa e Vale do Tejo publicado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT), que detém uma grande importância para o Ordenamento do Território, sendo nele apresentado quais os critérios e as metodologias que devem ser aplicados.

Posteriormente surgiram algumas Recomendações Técnicas por parte da Comissão Nacional do Território (CNT) sendo a mais recente a N.º 1/2017, de 17 de novembro.

Neste documento foram efetuadas atualizações metodológicas das Orientações Estratégicas de Âmbito Nacional e Regional (OENR) para a delimitação das AEREHS, nomeadamente face aos problemas de conversão das unidades que se encontram em certos parâmetros de cálculo. Ainda assim, verificaram-se alguns problemas com a aplicação da metodologia bem como do acesso à informação geográfica indicada nas OENR da RT-CNT N.º1/2017.

Em 2019, o Decreto-Lei n.º 124/2019, de 28 de agosto veio alterar o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional sendo que, posteriormente, surgiu a Portaria n.º 336/2019, de 26 de setembro. Nela se ajustou o método de cálculo das AEREHS e clarificou-se “a possibilidade de adoção de diferentes limiares de perda de solo em função da intensidade dos processos erosivos e da perda relativa do solo no contexto da diversidade das unidades territoriais regionais e sub-regionais”.

1.1.1. Delimitação da REN dos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Os municípios de Alenquer e Cadaval possuem delimitações de REN sendo que ambas detêm mais de 10 anos de vigência, não tendo sofrido quaisquer alterações até à data.

A REN do município de Alenquer foi aprovada a 4 de abril de 1996 pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 66/96, e a Resolução do Conselho de Ministros n.º 189/97 aprovou a REN do município do Cadaval a 3 de outubro de 1997. Atualmente encontram-se em revisão novas propostas de delimitação de REN para estes municípios⁵.

Relativamente ao município de Azambuja, até ao momento, não possui nenhuma delimitação de REN. Contudo, existe uma proposta por parte deste município encontrando-se em análise⁵. De referir que nestas situações, a aprovação da revisão do PDM é condicionada à realização da delimitação de REN, de acordo com o Artigo 42.º do Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro.

⁵ Segundo informação da Divisão de Planeamento e Informação (DPI) da ARHTO.

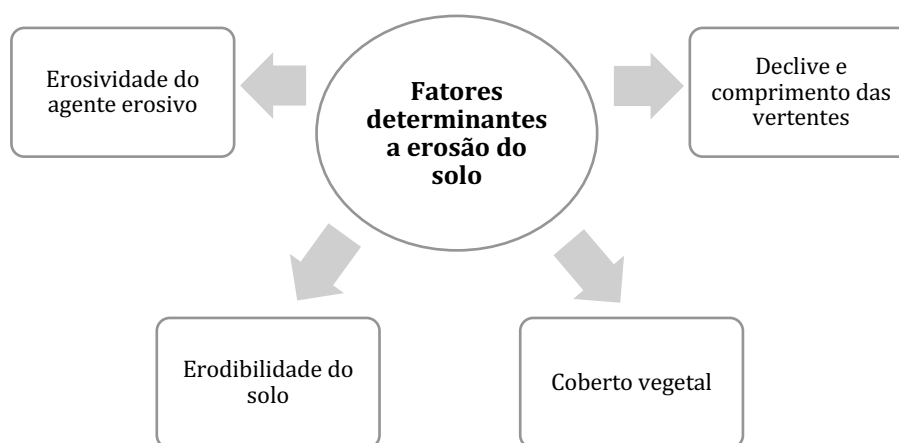
1.2. Erosão Hídrica do Solo

1.2.1. Erosão do Solo

O solo é caracterizado como um sistema dinâmico, sendo um dos recursos mais importantes do mundo para a Biosfera e os Ecossistemas. Em Portugal, “os solos de qualidade são escassos e estão seriamente ameaçados, principalmente pela Selagem/Impermeabilização, Erosão e Perda de Matéria Orgânica” (DGADR, 2009).

A erosão do solo é e continua a ser um problema ambiental importante assim como uma grande ameaça para várias regiões do mundo (FAO, 2019). Relativamente ao conceito em si, este pode definir-se como: “O desgaste da superfície terrestre pela ação da chuva ou água de irrigação, vento, gelo ou outros agentes naturais ou antropogénicos abrasivos que têm a capacidade de remover material de origem geológica ou solo, de um ponto sobre a superfície terrestre e depositá-lo noutro lugar.” (SSSA - Soil Science Society of America, 2008).

A perda de capacidade de absorção e armazenamento de água no solo é o motivo pelo qual ocorre a erosão (Imeson & Curfs, s.d.). Este é um processo bastante complexo pois depende de acordo com Morgan (2005), de vários fatores (Figura 2), que se modificam no tempo e no espaço (Pimenta, 1995).



Elaborado com base em Morgan, 2005

Figura 2 - Fatores que controlam a erosão do solo

O processo de erosão de solo implica essencialmente três fases (Ferreira, 2005):

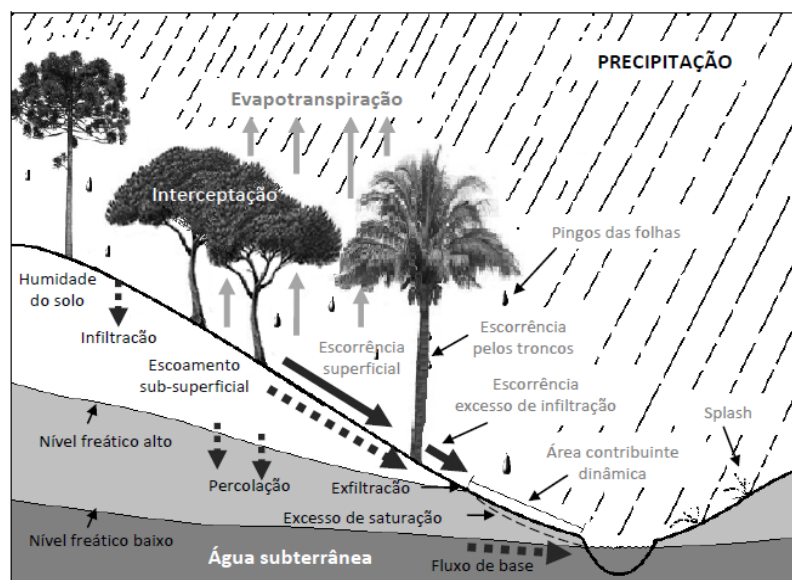
- 1) Desagregação de partículas;
- 2) Transporte ao longo das vertentes pelos agentes erosivos, água ou vento;
- 3) Deposição de partículas.

A degradação dos solos, a diminuição da aptidão agrícola e florestal são consequências da erosão do solo no território. A intensidade deste fenómeno varia conforme a quantidade de material que se desagrega e a capacidade dos agentes erosivos (Ferreira, 2005). Sendo o vento e a água os agentes mais importantes e comuns, consideram-se dois tipos de erosão do solo: a Erosão Eólica e a Erosão Hídrica.

1.2.2. Erosão Hídrica do Solo

Na União Europeia, a erosão hídrica do solo é uma das principais ameaças aos solos pois é a responsável pela maior perda de solo no território comparativamente a outros processos de erosão, como por exemplo a erosão eólica (Panagos *et al.*, 2015c). Constituindo um problema ambiental bastante preocupante, este tipo de erosão pode, em situações extremas, conduzir a um processo de desertificação no território.

Nos processos de erosão hídrica, a chuva caracteriza-se como um elemento modelador das vertentes pela sua capacidade de transporte e remoção de sedimentos. O impacto das gotas da chuva no solo (erosão de *splash*) e a escorrência superficial são os agentes principais neste processo (Roxo, 1994). Assim, a Figura 3 apresenta o processo de circulação da água nas vertentes, no qual se encontram representados várias interações nos diversos processos de remoção e transporte de sedimentos, bem como as variáveis envolvidas no processo. O escoamento pelas vertentes subsuperficial e superficialmente é condicionado por alguns elementos físicos como as construções, a vegetação, entre outros (Meneses, 2011).



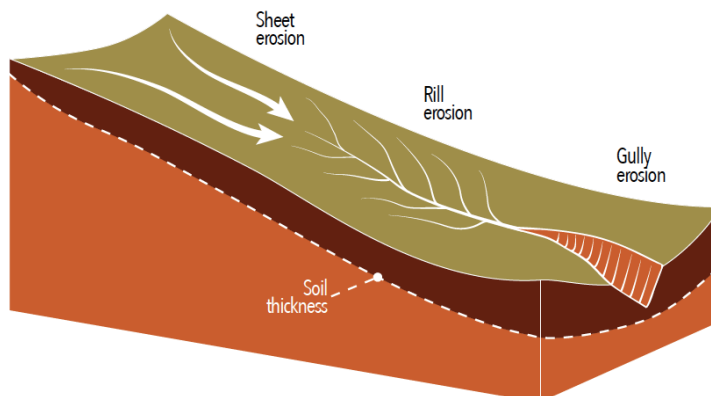
Adaptado de Clark and Small, 1982, in Meneses, 2011

Figura 3 – Circulação da água nas vertentes

Segundo Imeson & Curfs (s.d.), existem vários tipos de erosão hídrica do solo, sendo os mais comuns:

- **Erosão de *Splash*** é o impacto que as gotas da chuva têm no solo, sendo um importante agente de desagregação e movimento pelo ar de partículas de solo. Quanto maior for a intensidade da precipitação e menos protegido o solo estiver mais é propício a este tipo de erosão (Ferreira, 2005);
- **Erosão Laminar (*sheet erosion*)** consiste na remoção uniforme de finas camadas de solo pelas gotas da chuva e escoamento da água. Este tipo dá origem à perda de partículas que contêm matéria orgânica e os nutrientes mais ricos;
- **Erosão em Sulcos (*rill erosion*)** ocorre em terrenos declivosos, quando o escoamento da água se concentra em certos locais e possui um caudal suficiente para remover e arrastar solo. O progressivo alargamento dos sulcos pode dar origem à erosão em ravinas;
- **Erosão em Ravinas (*gully erosion*)** designada também por erosão em barrancos, é segundo Imeson & Curfs (s.d.), “o processo de erosão pelo qual a água se acumula e corta, entalha canais estreitos, por curtos períodos de tempo, que removem o solo desta área até profundidades consideráveis”. A erosão em ravinas corresponde a uma etapa muito avançada da erosão e cada ravina detêm entre 0,5m até 25 a 30m de profundidade, distinguindo-se da erosão em sulcos;
- **Erosão em Túnel (*piping erosion*)** consiste em estruturas subterrâneas de tuneis ou tubos estreitos, formadas pelo escoamento subsuperficial (Ferreira, 2005). Estes acontecem frequentemente em solos que possuem camadas ricas em argila, ou camadas com materiais que se dispersam espontaneamente na água durante chuvadas (Imeson & Curfs (s.d.)).

A Figura 4 demonstra três dos cinco tipos de erosão hídrica do solo definidos anteriormente.



In Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management, FAO, 2019

Figura 4 – Representação de três tipos de erosão hídrica numa encosta

De entre os vários modelos para avaliação da suscetibilidade à erosão hídrica do solo, no presente trabalho, é utilizado o modelo USLE (*Universal Soil Loss Equation*), ou EUPS (Equação Universal de Perda de Solo), sendo o método mais comum e utilizado em Portugal continental no âmbito da REN de acordo com as orientações estratégicas. Este modelo encontra-se descrito mais detalhadamente no capítulo 3.

2. Caracterização da Região de Lisboa e Vale do Tejo

Localizada na costa oeste de Portugal continental, com uma área de 12 216 km², correspondendo a aproximadamente 14 % do território nacional, encontra-se a região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT). Esta é composta por cinquenta e dois municípios agrupados em quatro sub-regiões estatísticas (NUTS III): Área Metropolitana de Lisboa (AML), Lezíria do Tejo, Médio Tejo e Oeste (Figura 5).

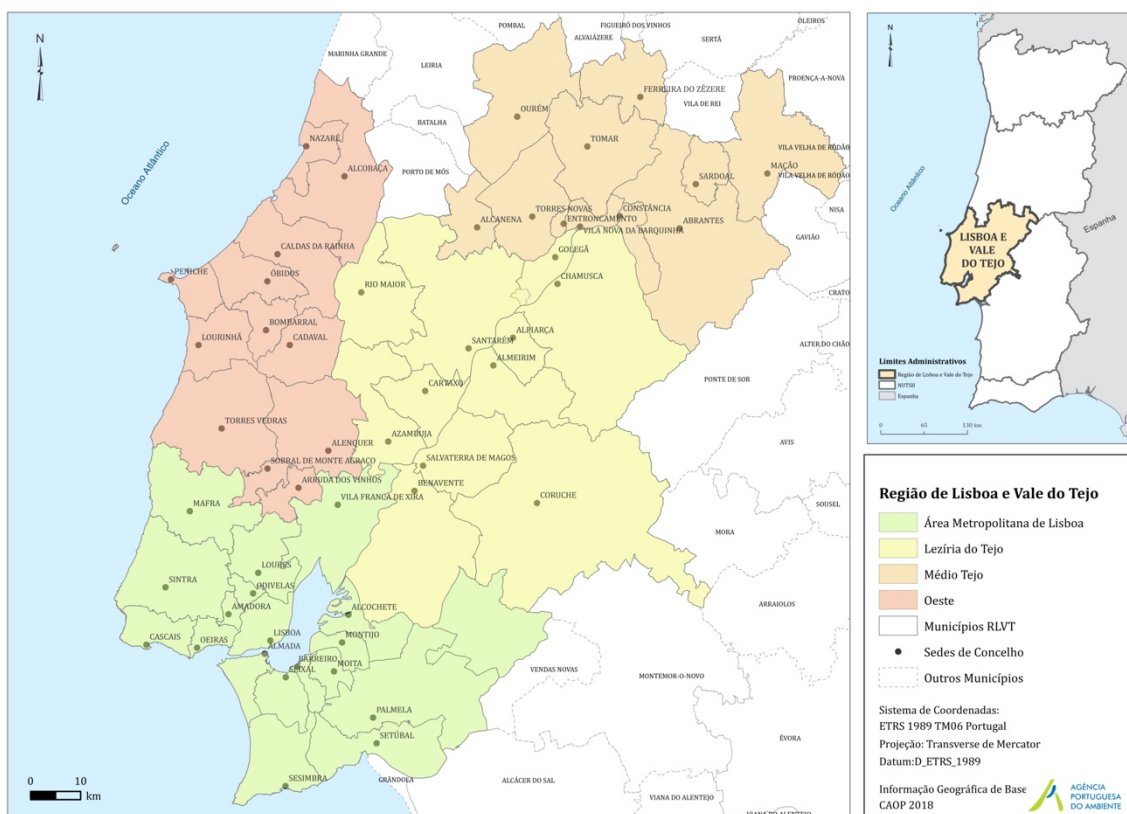
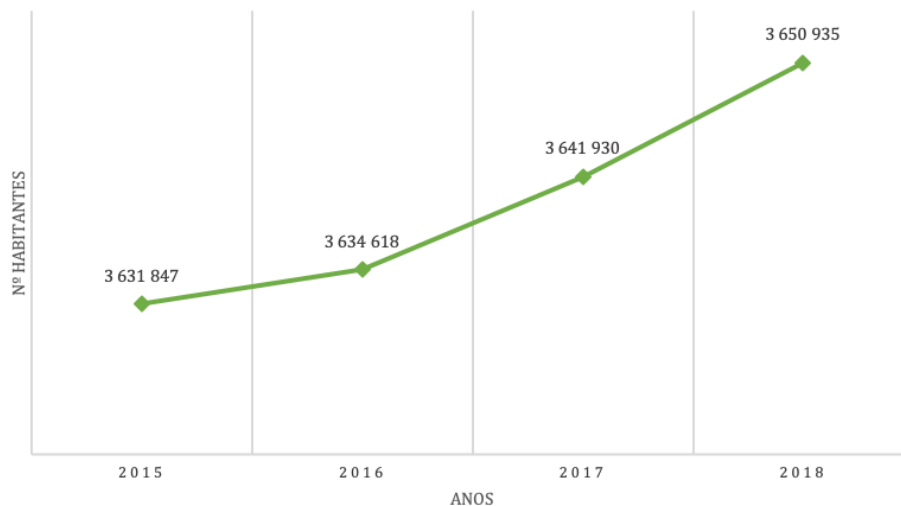


Figura 5 - Limites administrativos e concelhos da Região de Lisboa e Vale do Tejo

De acordo com a Figura 6, a população residente na região de Lisboa e Vale do Tejo tem vindo a aumentar nos últimos três anos. Em 2018, residiam 3.650.935 pessoas na região, segundo informação do INE.



Fonte: INE (2018)

Figura 6 - Evolução da população residente na região de Lisboa e Vale do Tejo

A densidade populacional (Figura 7) na RLVT é bastante superior à maior parte das outras regiões do País, detendo maioritariamente valores entre 51 e 150 de habitantes/ km².

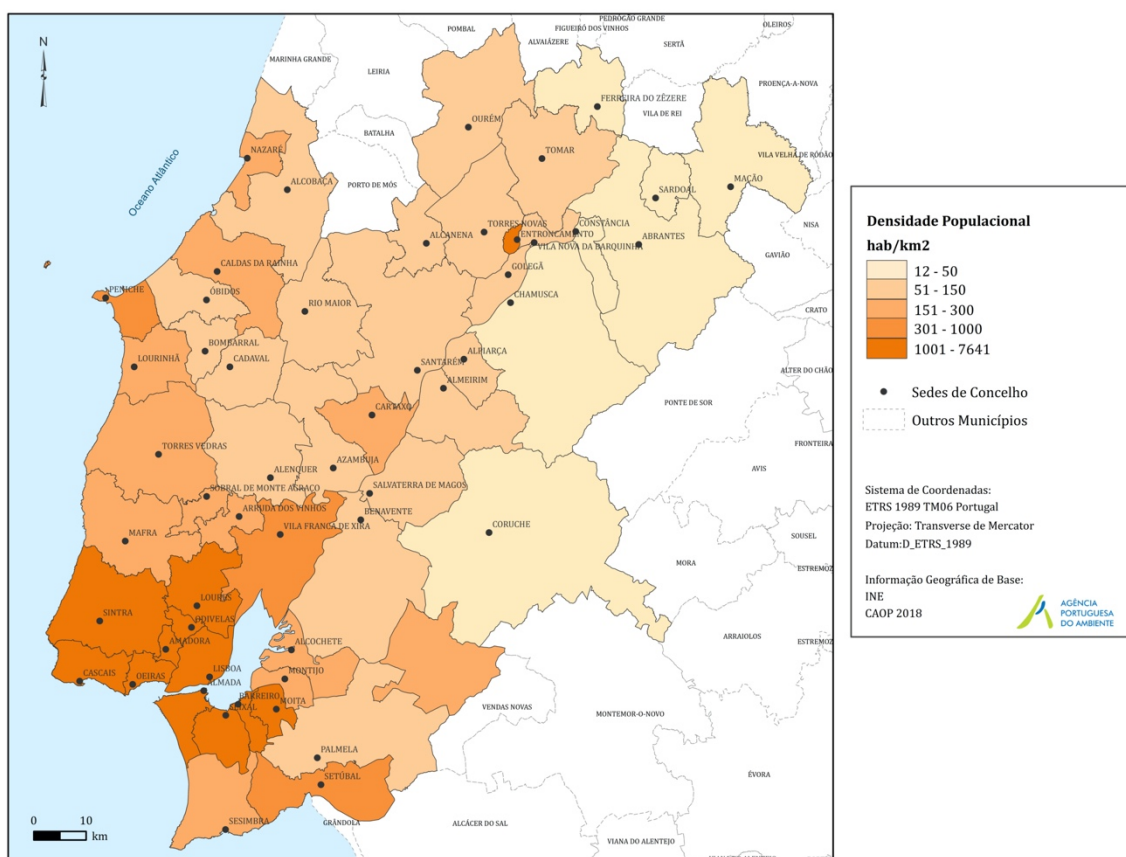
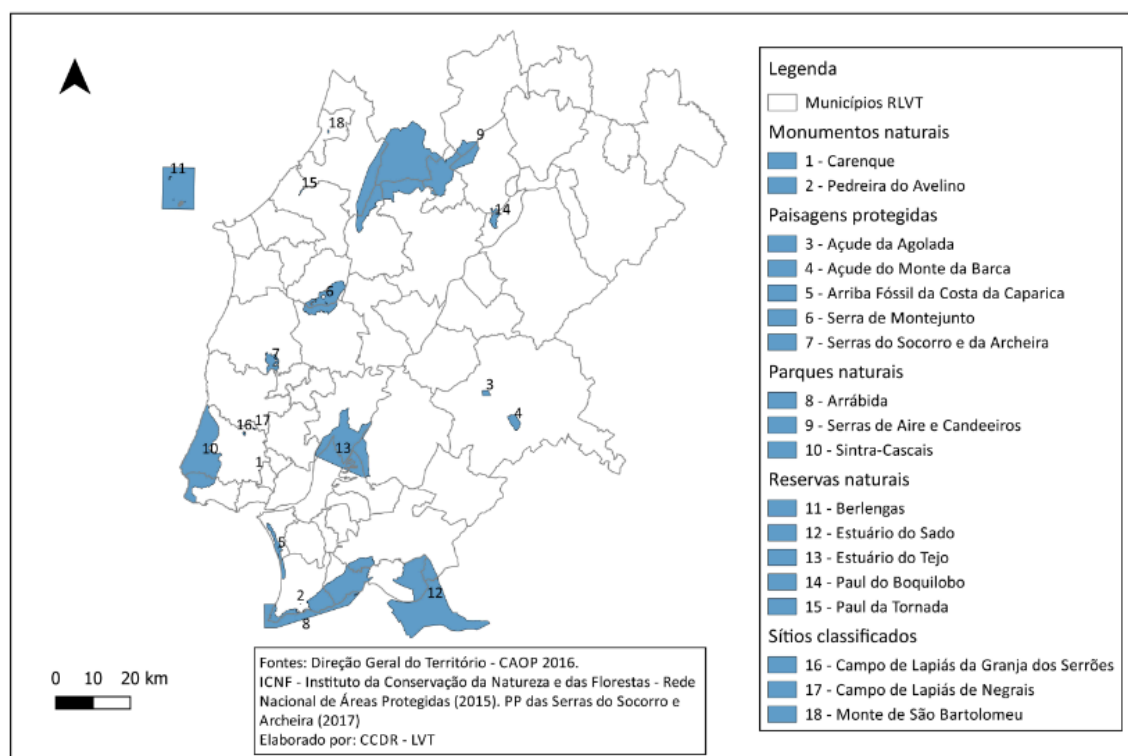


Figura 7 - Densidade populacional na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2018

Deste modo, observa-se que existem diferenças entre as sub-regiões: a Área Metropolitana de Lisboa (AML) detém uma maior concentração de população (com valores entre 1001 e 7641 hab/km²), sendo fortemente urbanizada e o Oeste, Médio Tejo e Lezíria do Tejo, onde predominam as áreas rurais, possuem valores populacionais relativamente mais baixos.

Ocupando uma parte considerável do território, são várias as áreas de grande interesse para a conservação da biodiversidade e natureza na RLVT, que pertencem à Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP)⁶ (Figura 8). Na AML destacam-se as reservas naturais dos estuários do Tejo e Sado e os parques naturais da Arrábida e Sintra-Cascais. Por sua vez, no Oeste e Vale do Tejo localiza-se a Reserva Natural das Berlengas, o Parque Natural da Serra de Aire e Candeeiros e a Paisagem Protegida da Serra de Montejunto (CCDR-LVT REOT, 2017).



In REOT LVT, 2017

Figura 8 - Áreas Protegidas da Região de Lisboa e Vale do Tejo

A Região de Lisboa e Vale do Tejo enquadra-se em três unidades morfo-estruturais:

- Bacia Terciária do Tejo e do Sado – onde predominam as áreas planas e de baixa altitude (inferiores a 100 m), sendo que ocupam a maior parte do território.

⁶ Definido pelo Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF)

Localizadas principalmente na Lezíria do Tejo, estas formam a extensa planície sedimentar da bacia do rio Tejo (CCDR-LVT, 1998);

- Maciço Antigo - é uma das unidades geomorfológicas mais importantes do território nacional, constituído por superfícies de aplanamento de média altitude, localizado a nordeste no limite da RLVT (CCDR-LVT, 1998);
- Orla Mesocenoica Ocidental – integra a sub-região do Oeste, e nesta encontra-se o Maciço Calcário Estremenho onde se situam as Serras de Aire, Candeeiros e Montejunto (com altitudes superiores a 700 m). A sul, na Península de Setúbal, destaca-se a Serra da Arrábida (com 501m de altitude) (CCDR-LVT, 1998).

Os solos da RLVT caracterizam-se essencialmente como solos férteis, favoráveis para as práticas agrícolas. Através da Figura 9, observa-se que o rio Tejo atravessa as regiões da Lezíria e Médio Tejo, sendo que os estuários do Tejo e do Sado detêm uma importância significativa no património hidrográfico da região. De referir que a rede hidrográfica da bacia do Tejo abrange a maior parte da região de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT, 1998).

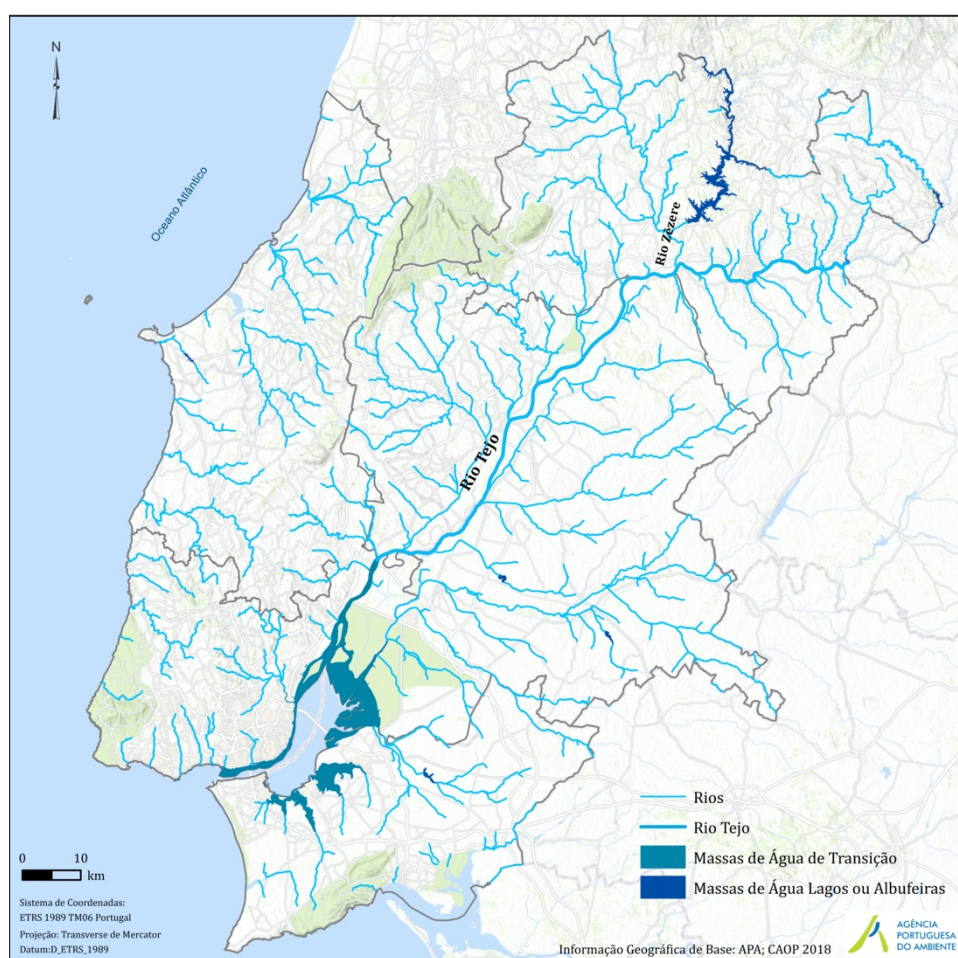


Figura 9 - Hidrografia da Região de Lisboa e Vale do Tejo

2.1.1. Caracterização dos municípios

Para o presente estudo, foram seleccionados três municípios da região de Lisboa e Vale do Tejo, contíguos e com características distintas entre si, que permitissem uma diversidade de condições fisiográficas: Alenquer, Azambuja e Cadaval (Figura 10).

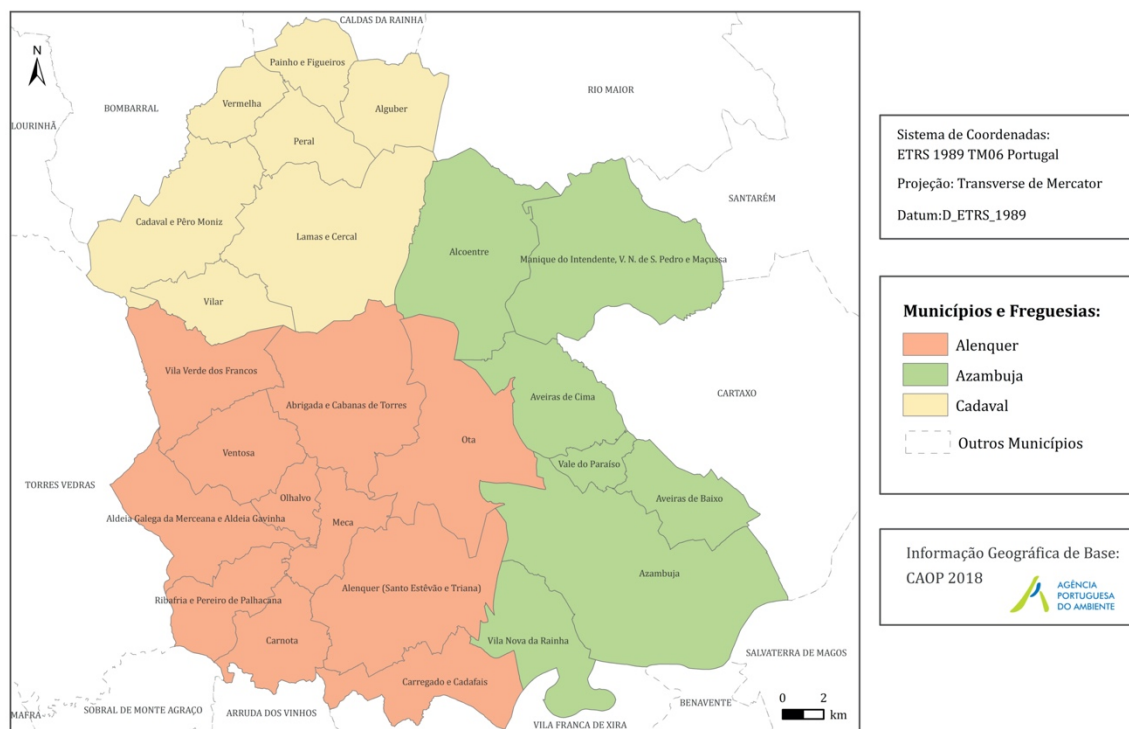


Figura 10 - Municípios da área de estudo (Alenquer, Azambuja e Cadaval)

Localizado na sub-região do Oeste, encontra-se o município de Alenquer com uma área de 304 km² e 43 596 de habitantes (2018⁷). Possui onze freguesias: Abrigada e Cabanas de Torres, Aldeia Galega da Merceana e Aldeia Gavinha, Alenquer (Santo Estêvão e Triana), Carnota, Carregado e Cadafais, Meca, Olhalvo, Ota, Ribafria e Pereiro de Palhacana, Ventosa e Vila Verde dos Francos (Figura 10).

A leste do município de Alenquer, com uma área de 263 km² e 22 445 de habitantes (2018⁷), encontra-se o município de Azambuja que pertence à sub-região da Lezíria do Tejo. Este é subdividido em sete freguesias: Alcoentre, Aveiras de Baixo, Aveiras de Cima, Azambuja, Manique do Intendente, Vila Nova de São Pedro e Maçussa, Vale do Paraíso e Vila Nova da Rainha (Figura 10).

Por último, situado também na sub-região do Oeste encontra-se o município do Cadaval com 175 km² de área e 13 627 de habitantes (2018⁷). Por sua vez é composto por

⁷ INE - População residente (N.º) por Local de residência (NUTS - 2013), Sexo e Grupo etário; Anual - INE, Estimativas anuais da população residente

sete freguesias: Alguber, Cadaval e Pêro Moniz, Lamas e Cercal, Painho e Figueiros, Peral, Vermelha e Vilar (Figura 10).

De forma a analisar a morfologia do território dos três municípios, o Modelo Digital do Terreno (MDT) é fundamental. A sua criação foi efetuada através da altimetria disponível para os concelhos em questão, sendo que todo o processo se encontra descrito pormenorizadamente no subcapítulo 3.2.2.

Assim, a partir do MDT obteve-se a altitude (Figura 11) e foi possível derivar os declives (Figura 12) da área em estudo. Observa-se, deste modo, que Alenquer e Cadaval são os municípios com altitudes mais elevadas, e que Azambuja detém baixas altitudes. O município do Cadaval insere-se principalmente na Orla Mesocenoica Ocidental, sendo atravessado pela serra de Montejunto (666 m) que é a unidade geomorfológica que mais se destaca neste município. Pertencendo ao município do Cadaval, esta serra também faz parte do concelho de Alenquer. Assim, com grande diversidade paisagística, este município é maioritariamente caracterizado por um relevo acidentado, delimitado a norte pela serra de Montejunto e a sul pelas zonas de planícies correspondentes às baixas superfícies. Por sua vez, o município de Azambuja é essencialmente plano, destacando-se a planície aluvionar do rio Tejo no sul do território. As áreas de maior altitude do concelho, encontram-se na zona norte, não ultrapassando 200 metros. As cotas mais baixas de toda a área em estudo, 0 metros, predominam no sul do município na planície do rio Tejo.

Os declives são maioritariamente superiores a 5° e inferiores a 25°. No geral, verifica-se que as áreas mais elevadas do território são as que expressam maiores declives, evidenciando-se principalmente a Serra de Montejunto com declives superiores a 25° bem como a Serra da Ota, que também se destaca na Figura 12. Na zona da Lezíria, no sul do município de Azambuja, encontram-se as áreas mais baixas de toda a área de estudo e deste modo, os declives variam entre 0° e 2°.

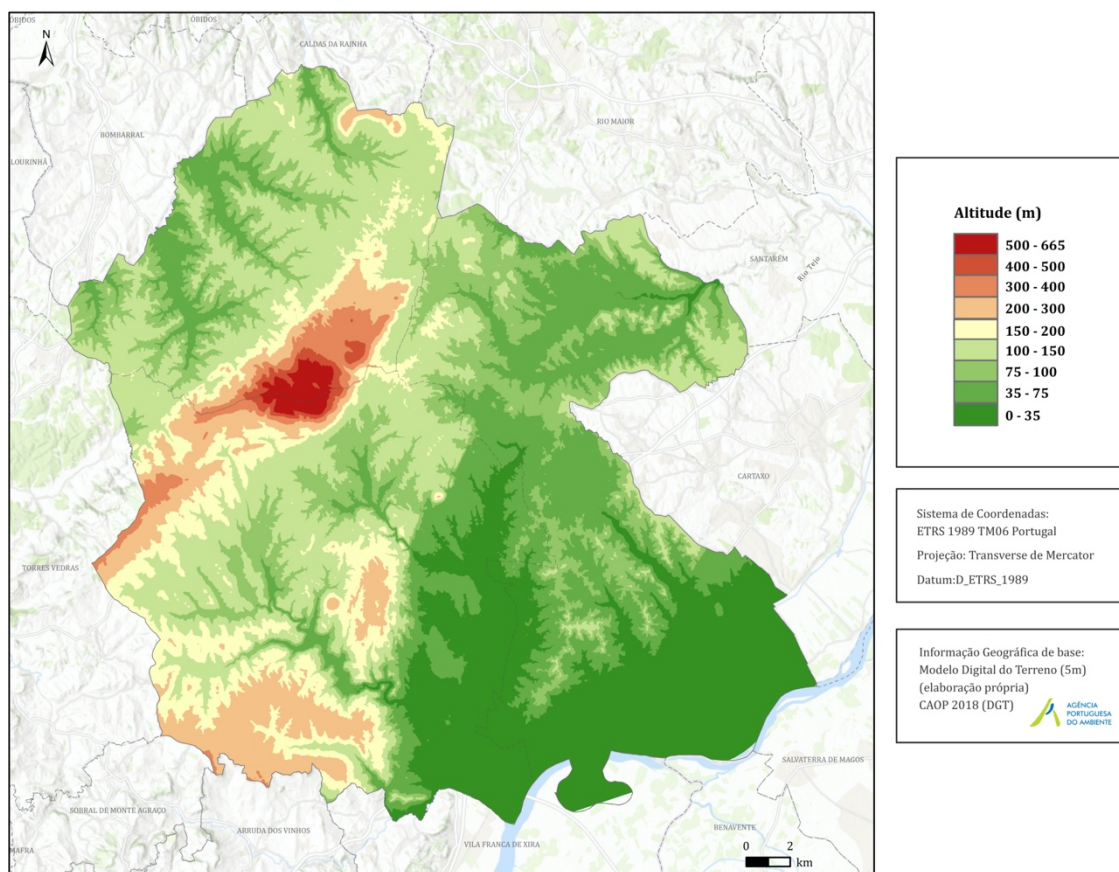


Figura 11 - Altitude (m) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

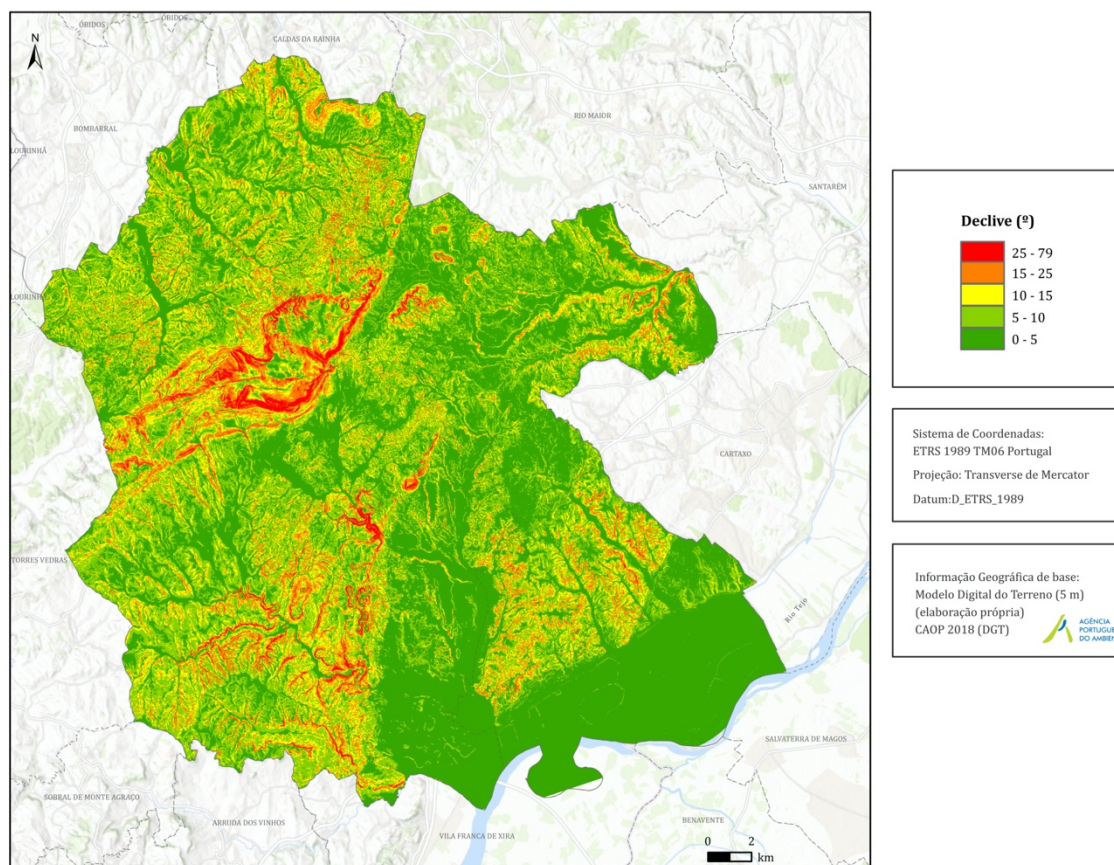


Figura 12 - Declives (graus) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Relativamente à hidrografia do território (Figura 13), destacam-se duas bacias hidrográficas distintas: bacia das Ribeiras do Oeste (RH4) e a bacia do Rio Tejo (RH5).

O concelho do Cadaval insere-se integralmente na bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste, sendo que as principais linhas de água são rio Real, o rio Arnóia, o rio Bogotá, o rio Santo António (afluente direito do rio Bogotá) e o rio da Corga. Alenquer e Azambuja pertencem ambas à bacia hidrográfica do Rio Tejo. Contudo a norte do município de Alenquer insere-se um pouco na bacia das Ribeiras do Oeste. Neste concelho, o Rio Alenquer, o Rio Ota, a Vala de Archino e o Rio Grande da Pipa são as linhas de água principais. Por fim, no concelho de Azambuja, destaca-se o rio Tejo a sul, mas também as linhas de água como o Rio Alenquer, o Rio Ota, o Rio de Valverde.

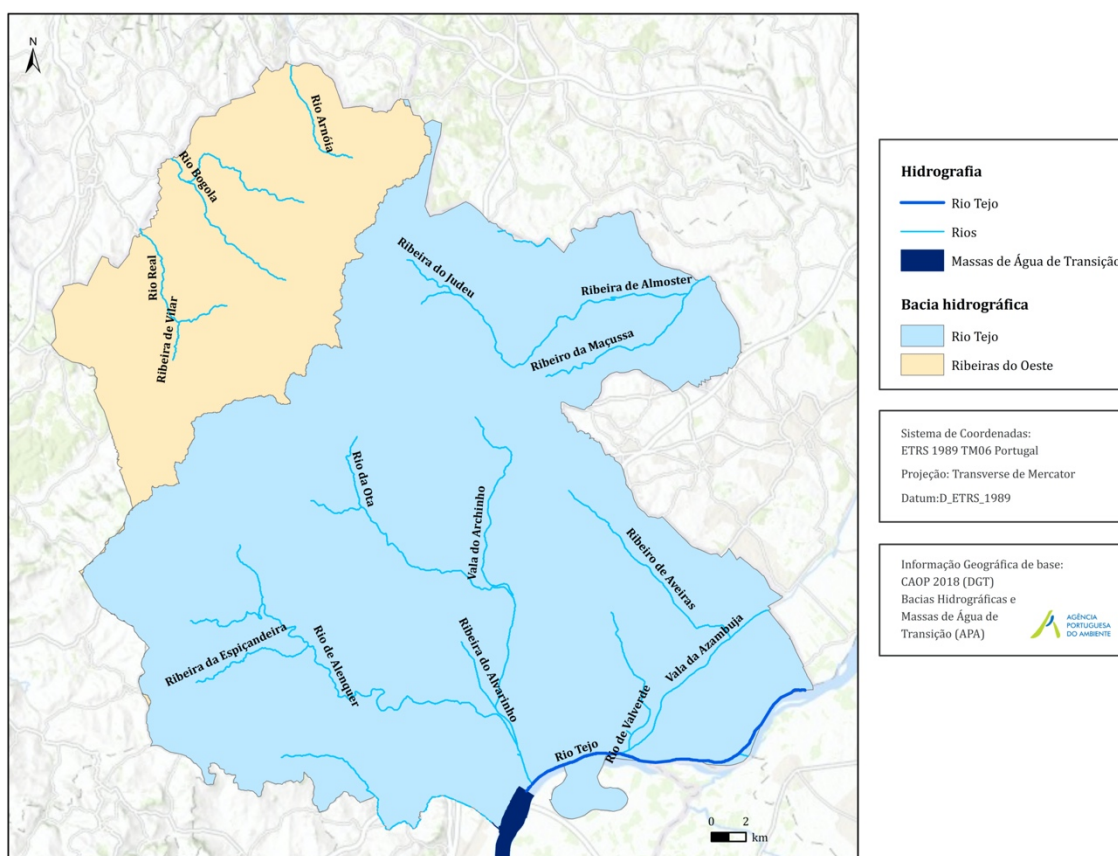


Figura 13 – Principais cursos de água nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

São vários os tipos de solos que existem nos três municípios em estudo. Através do Quadro 4, verifica-se que predominam na área em estudo os solos mediterrâneos (28,58%) e os solos calcários (21,59%). Junto ao rio Tejo, prevalecem os solos salinos (6,17%) e os aluviosolos (8,24%).

Quadro 4 – Frequência dos tipos de solo (Carta de Solos - DGADR) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Tipos de Solos	Área (%)
Aluviosolos	8,24
Coluviosolos	3,47
Litossolos	0,08
Regossolos	0,01
Solos Litólicos	10,21
Solos Calcários	21,59
Barros	1,08
Solos Mólicos	1,21
Solos Mediterrâneos	28,58
Solos Podzolizados	12,35
Solos Salinos	6,17
Solos Hidromórficos	1,59
Afloramento Rochoso	1,54
Áreas Sociais	3,88

A Figura 14 apresenta a Carta de Ocupação do Solo (COS) de 2015, da Direção-Geral do Território (DGT), para os municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval. Ao analisar a área em estudo, observa-se que estes municípios são essencialmente florestais, com cerca de 47 %, seguindo-se da classe das áreas agrícolas com aproximadamente 45 % da área em estudo (Quadro 5). Estas são as duas classes predominantes nos três municípios em estudo. As áreas urbanas ocupam sensivelmente 7 % sendo que as zonas húmidas e os corpos de água detêm as percentagens de área mais baixas do território.

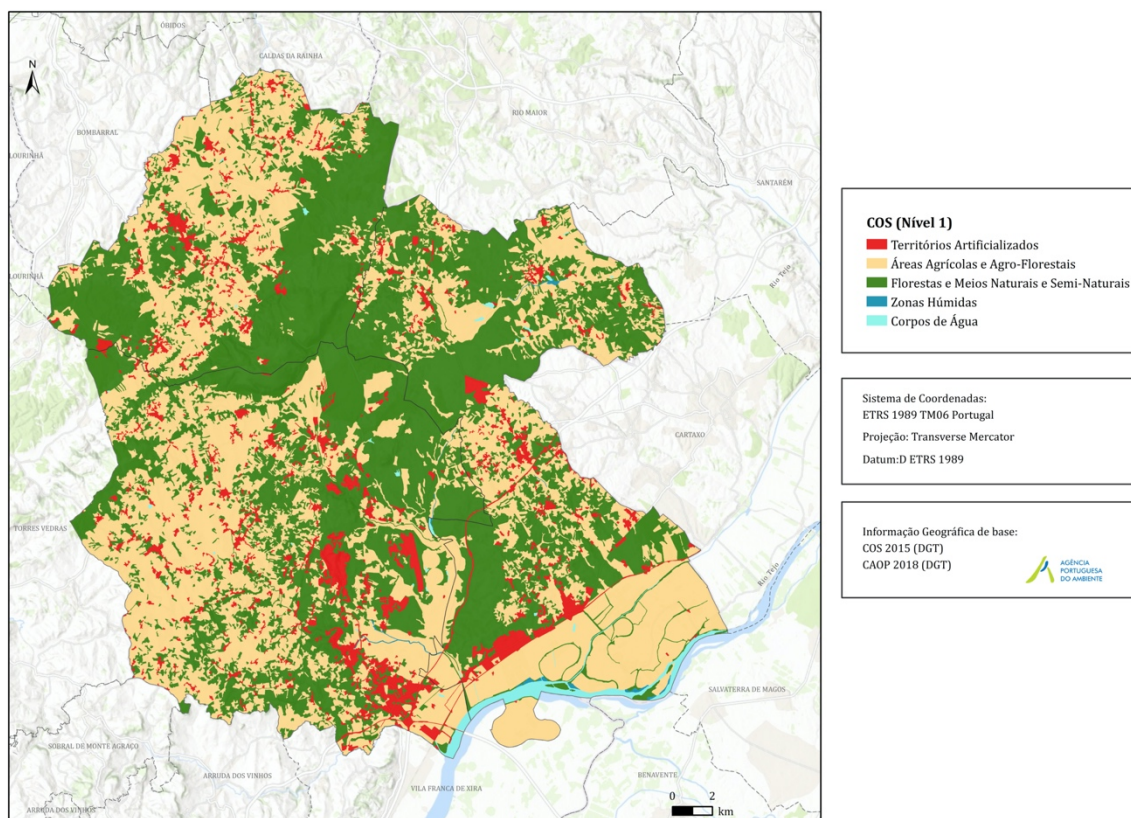


Figura 14 - Ocupação do Solo (2015) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Quadro 5 – Frequência das classes de Ocupação do Solo (2015) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Tipo de cobertura e uso do solo (Nível 1)	Área (%)
Florestas e Meios Naturais e Semi-Naturais	46,78
Áreas Agrícolas e Agro-Florestais	44,99
Territórios Artificializados	7,07
Corpos de Água	0,99
Zonas Húmidas	0,16

3. Metodologias e Informação Geográfica

3.1. Metodologias

Para avaliar a suscetibilidade à erosão hídrica do solo a nível regional e municipal utilizaram-se três metodologias distintas (Quadro 6). De seguida, estas encontram-se descritas com maior pormenor.

Quadro 6 - Metodologias utilizadas para o cálculo da erosão hídrica do solo

Metodologia	Expressão para o Cálculo	Classificação dos Resultados																											
<p>Quadro de Referência Regional (QRR)</p> <ul style="list-style-type: none">Metodologia de Monturiol <i>et al.</i> (1978)	<p>Cruzamento de 2 variáveis:</p> <ul style="list-style-type: none">DecliveErodibilidade Média dos Solos	<table><tr><th rowspan="2">DECLIVIS (%)</th><th colspan="3">ERODIBILIDADE (K)</th></tr><tr><th>Er1: Fraca (< 0,030)</th><th>Er2: Moderada (0,030 – 0,045)</th><th>Er3: Elevada (> 0,045)</th></tr><tr><td>D1: [0 – 5]</td><td>Re 1/2</td><td>Re 1/2</td><td>Re 1/2</td></tr><tr><td>D2: [5 – 8]</td><td>Re 2</td><td>Re 3</td><td>Re 4</td></tr><tr><td>D3: [8 – 15]</td><td>Re 3</td><td>Re 4</td><td>Re 5</td></tr><tr><td>D4: [15 – 25]</td><td>Re 4</td><td>Re 5</td><td>Re 5</td></tr><tr><td>D5: > 25</td><td>Re 5</td><td>Re 5</td><td>Re 5</td></tr></table>	DECLIVIS (%)	ERODIBILIDADE (K)			Er1: Fraca (< 0,030)	Er2: Moderada (0,030 – 0,045)	Er3: Elevada (> 0,045)	D1: [0 – 5]	Re 1/2	Re 1/2	Re 1/2	D2: [5 – 8]	Re 2	Re 3	Re 4	D3: [8 – 15]	Re 3	Re 4	Re 5	D4: [15 – 25]	Re 4	Re 5	Re 5	D5: > 25	Re 5	Re 5	Re 5
DECLIVIS (%)	ERODIBILIDADE (K)																												
	Er1: Fraca (< 0,030)	Er2: Moderada (0,030 – 0,045)	Er3: Elevada (> 0,045)																										
D1: [0 – 5]	Re 1/2	Re 1/2	Re 1/2																										
D2: [5 – 8]	Re 2	Re 3	Re 4																										
D3: [8 – 15]	Re 3	Re 4	Re 5																										
D4: [15 – 25]	Re 4	Re 5	Re 5																										
D5: > 25	Re 5	Re 5	Re 5																										
<p>Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro</p> <ul style="list-style-type: none">Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) adaptada a Portugal continental e cálculo da perda de solo específico (<i>Pse</i>), com base nos estudos de Wischmeier e Smith (1978) e de Ferro, Giordano e Iovino (1991)	$A = 2,24 \times R \times K \times LS \times C \times P$ $SDR = 0,332 A_b^{-0,2236}$ $Pse = SDR \times A$	<table><tr><th>Perda de Solo (<i>Pse</i>) (ton/ha.ano)</th><th>Avaliação de Risco</th></tr><tr><td>≥ 55 ton/ha.ano</td><td>Elevado</td></tr><tr><td>25 ≤ ton/ha.ano < 55</td><td>Médio</td></tr><tr><td>0 ≤ ton/ha.ano < 25</td><td>Baixo</td></tr></table>	Perda de Solo (<i>Pse</i>) (ton/ha.ano)	Avaliação de Risco	≥ 55 ton/ha.ano	Elevado	25 ≤ ton/ha.ano < 55	Médio	0 ≤ ton/ha.ano < 25	Baixo																			
Perda de Solo (<i>Pse</i>) (ton/ha.ano)	Avaliação de Risco																												
≥ 55 ton/ha.ano	Elevado																												
25 ≤ ton/ha.ano < 55	Médio																												
0 ≤ ton/ha.ano < 25	Baixo																												
<p>Portaria n.º 336/2019, de 26 de setembro, que se encontra atualmente em vigor</p> <ul style="list-style-type: none">Apoia-se na identificação da Erosão Potencial do Solo	$A = R \times K \times LS$ <p>Caso se considere o <i>P</i>:</p> $A = R \times K \times LS \times P$	<table><tr><th>Erosão Potencial do Solo (ton/ha.ano)</th></tr><tr><td>25 ton/ha.ano⁸</td></tr></table>	Erosão Potencial do Solo (ton/ha.ano)	25 ton/ha.ano ⁸																									
Erosão Potencial do Solo (ton/ha.ano)																													
25 ton/ha.ano ⁸																													

Um ano após a publicação do Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, surge o relatório sobre a “Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo, Quadro de Referência Regional” de (Ramos *et al.*, 2009), a que se seguiu o relatório “Reserva Ecológica Nacional da Área Metropolitana de Lisboa, Quadro de Referência Regional” (Ramos *et al.*, 2010), com o objetivo de aplicar um modelo que possibilitasse o cálculo da erosão hídrica do solo e a definição de limiares para integrar áreas em REN, permitindo ainda uma imagem de conjunto da REN a nível regional.

⁸ Valor de referência de limite máximo de perda de solo admissível

Deste modo, utilizou-se a metodologia de Monturiol *et al.* (1978) que defende a variação da erosão potencial conforme o cruzamento de dois fatores:

- O Declive (D);
- A Erodibilidade Média dos Solos (K).

O declive (em percentagem) foi classificado em 5 classes e a erodibilidade média dos solos (K em unidades do Sistema Internacional (SI)) em 3 classes. Cruzando estes dois fatores obtiveram-se 5 classes de suscetibilidade à erosão hídrica (Quadro 7).

Quadro 7 - Classificação dos fatores e respetivas classes de suscetibilidade à erosão hídrica do solo.

DECLIVES (%)	ERODIBILIDADE (K em unidades SI)		
	Er1: Fraca ($\leq 0,030$)	Er2: Moderada ($0,030 - 0,045$)	Er3: Elevada ($\geq 0,045$)
D1: [0 - 5]	Re 1/2	Re 1/2	Re 1/2
D2:]5 - 8]	Re 2	Re 3	Re 4
D3:]8 - 15]	Re 3	Re 4	Re 5
D4:]15 - 25]	Re 4	Re 5	Re 5
D5: > 25	Re 5	Re 5	Re 5

Risco de erosão hídrica do Solo

- Re 1 – Sem risco
- Re 2 – Baixo
- Re 3 – Moderado
- Re 4 – Elevado
- Re 5 – Muito elevado

A delimitação das áreas de elevado risco de erosão do solo (AEREHS) tem por base a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) de Wischmeier e Smith (1978), com os ajustes necessários para Portugal continental e aplicada somente ao escoamento não concentrado em vertentes.

Deste modo, a segunda metodologia de cálculo que se apresenta é de acordo com as OENR aprovadas pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro de 2012, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro. Com objetivo de ajudar no processo de cálculo, foi ainda elaborado o Guia Metodológico para a Delimitação da Reserva Ecológica Nacional em Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT, 2015). Neste caso, o processo de cálculo consiste essencialmente em duas fases:

1) Estimar a erosão específica do solo (A) segundo a seguinte expressão:

$$A = 2,24 \times \bar{R} \times K \times LS \times C \times P$$

Onde:

2,24 — constante que visa a conversão das unidades anglo-saxónicas para o Sistema Internacional (SI);

R — fator de erosividade da precipitação em T.pé/acre;

K — fator relativo à erodibilidade dos solos em unidades métricas;

LS — fator topográfico, adimensional;

C — fator relativo à ocupação do solo;

P — fator antrópico, relativo à densidade populacional.

2) Estimar a perda de solo específico (Pse), expressa pela seguinte equação:

$$Pse = SDR \times A$$

Onde:

A — é a erosão específica do solo;

SDR — é a Razão de Cedência de Sedimentos de acordo com a seguinte expressão:

$$SDR = 0,332A_b^{-0,2236}$$

Em que:

A_b — é o valor da área de drenagem em km², calculado a partir do mapa de sentido de fluxos, criado a partir do MDT com resolução de 10m.

Por último, efetuou-se o cálculo das AEREHS de acordo com a Portaria n.º 336/2019, de 26 de setembro que aprovou a revisão das OENR previstas no Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional (REN). Relativamente à tipologia anterior, ajustou-se o método de cálculo, nomeadamente um dos fatores, o LS, em que se passou a utilizar a fórmula da EUPS revista (RUSLE), aplicada somente ao escoamento não concentrado em vertentes. “[...] Foi ainda clarificada a possibilidade de adoção de diferentes limiares de perda de solo, em função da intensidade dos processos erosivos e da perda relativa do solo no contexto da diversidade das unidades territoriais regionais e sub-regionais”⁹.

Assim, pretende-se efetuar o cálculo somente com as características do solo para efeitos de erosão potencial, de acordo com a seguinte expressão:

$$A = R \times K \times LS$$

Onde:

A — é a perda de solo calculada, expressa em t ha⁻¹ ano⁻¹;

⁹ Disponível em: <https://dre.pt/home/-/dre/125002934/details/maximized>

R é o fator de erosividade da precipitação, expresso em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$;
 K é o fator relativo à erodibilidade do solo, expresso em $\text{t h ha MJ}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$;
 LS é o fator topográfico, adimensional.

Uma das principais alterações no cálculo das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo é o facto de não serem considerados os fatores C , P , SDR (Razão de Cedência de Sedimentos) e Pse (Perda de Solo Específico). Todavia, caso as práticas agrícolas contenham socos e/ou muros de contenção de terra que contribuem de forma significativa para a redução da erosão potencial do solo, deve ser considerado o fator P , de acordo com a seguinte expressão:

$$A = R \times K \times LS \times P$$

Onde:

P é o fator de prática de conservação do solo, adimensional.

Relativamente às metodologias utilizadas, optou-se para ambas as escalas pela legislação mais recente, do cálculo da Erosão Hídrica Potencial (Portaria n.º 336/2019), o que permite a sua comparação. À escala regional, utilizou-se a metodologia do Quadro de Referência Regional pois já tinha sido testada neste contexto. E por sua vez, à escala municipal aplicou-se a metodologia da Perda de Solo Específico (Declaração de Retificação n.º 71/2012) sendo que é a que precede à Portaria n.º 336/2019 mas também a que foi mais aplicada no contexto municipal.

3.2. Informação Geográfica

Para avaliar a suscetibilidade à erosão hídrica procurou-se informação recente que respeitasse as listas de fonte de informação das metodologias utilizadas.

Todos os processos para a delimitação das AEREHS foram efetuados com recurso ao *software* ArcGIS (ArcMap 10.6.1) da ESRI. Os dados foram trabalhados e transformados para o sistema de coordenadas PT-TM06/ ETRS89 que é o sistema de referência oficial utilizado para Portugal continental.

A informação de base, bem como os resultados obtidos em estrutura matricial, encontram-se com uma resolução de 100 m à escala regional e 5 m à escala municipal.

O Quadro 8 apresenta a informação geográfica utilizada para o cálculo à escala regional. Procurou-se informação de pequena e média escala, que permita identificar territórios contrastados.

Relativamente à informação utilizada do JRC relativa à erosividade de precipitação e à erodibilidade dos solos referentes à Europa, estas têm aproximadamente um valor de erro de 1 km quanto aos limites litorais da região de Lisboa e Vale do Tejo. Foi necessário trabalhar estes dados de modo a corrigir o erro mencionado, mas no caso da erodibilidade dos solos, também foi preciso verificar as áreas urbanas e corrigi-las com a ajuda da informação do Corine Land Cover (CLC 2018).

Quadro 8 - Informação geográfica à escala regional

Informação	Tipo de Informação	Fonte	Escala/ resolução
Modelo SRTM para Portugal continental	Matricial com a resolução de 80 metros ¹⁰	NASA/JPL	80 m
Erosividade de Precipitação - <i>Rainfall Erosivity in the EU and Switzerland (R-factor)</i>	Matricial (TIFF) com resolução de 500 metros ¹¹	Join Research Centre (JRC)	500 m
Erodibilidade dos Solos - <i>Soil Erodibility (K- Factor) High Resolution dataset for Europe</i>	Matricial (TIFF) com resolução de 500 metros ¹²	Join Research Centre (JRC)	500 m
Corine Land Cover (CLC) 2018	Vetorial (<i>shapefile</i>) ¹³	Copernicus Land Monitoring Service	1/100 000

¹⁰ Disponível em: <https://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/srtm/>

¹¹ Disponível em: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/rainfall-erosivity-european-union-and-switzerland>

¹² Disponível em: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-erodibility-k-factor-high-resolution-dataset-europe#tabs-0-description=0>

¹³ Disponível em: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012?tab=download>

À escala municipal procurou-se utilizar, sempre que possível, informação com uma escala de maior pormenor. Assim, o Quadro 9 apresenta os dados utilizados para avaliar a suscetibilidade à erosão hídrica do solo nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval.

Quadro 9 - Informação geográfica à escala municipal

Informação	Tipo de Informação	Fonte	Escala/ resolução
Concelhos de Portugal (CAOP 2017)	Polígonos dos limites administrativos	Direção Geral do Território (DGT)	1/25 000
Altimetria dos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval	Curvas de nível (5 m) e pontos cotados	Câmara Municipais de Alenquer, Azambuja e Cadaval	1/10 000
Erosividade da Precipitação para Portugal continental	Matricial (25m), baseado no modelo de precipitação do projeto "Potential Land-Use Ecological Plan. Application to Portugal - PTDC/AUR-URB/119340/2010" com resolução de 1 km.	Pena, 2016	1 km
"Mapa da Erosividade da Precipitação"	Matricial (250m), para eventos com precipitação total superior a 50,8 mm, referentes a 449 postos udométricos de Portugal continental	INAG/DMSIDH 2003	250 m
Carta de Solos de Portugal	Polígonos	Direção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR)	1/25 000
Cartografia de Ocupação do Solo (COS 2015)	Polígonos	Direção Geral do Território (DGT)	1/25 000

3.2.1. Tratamento e Preparação dos Dados

Previamente ao início dos procedimentos de cálculo, a verificação da informação é fundamental. Constatou-se, após essa verificação que as curvas de nível dos municípios em estudo não se ligavam entre si, tendo sido necessário proceder à sua edição manualmente. Estas são essenciais para posteriormente criar o modelo digital do terreno (MDT). A Figura 15 apresenta o antes e o depois da edição efetuada a uma parte da área de estudo.

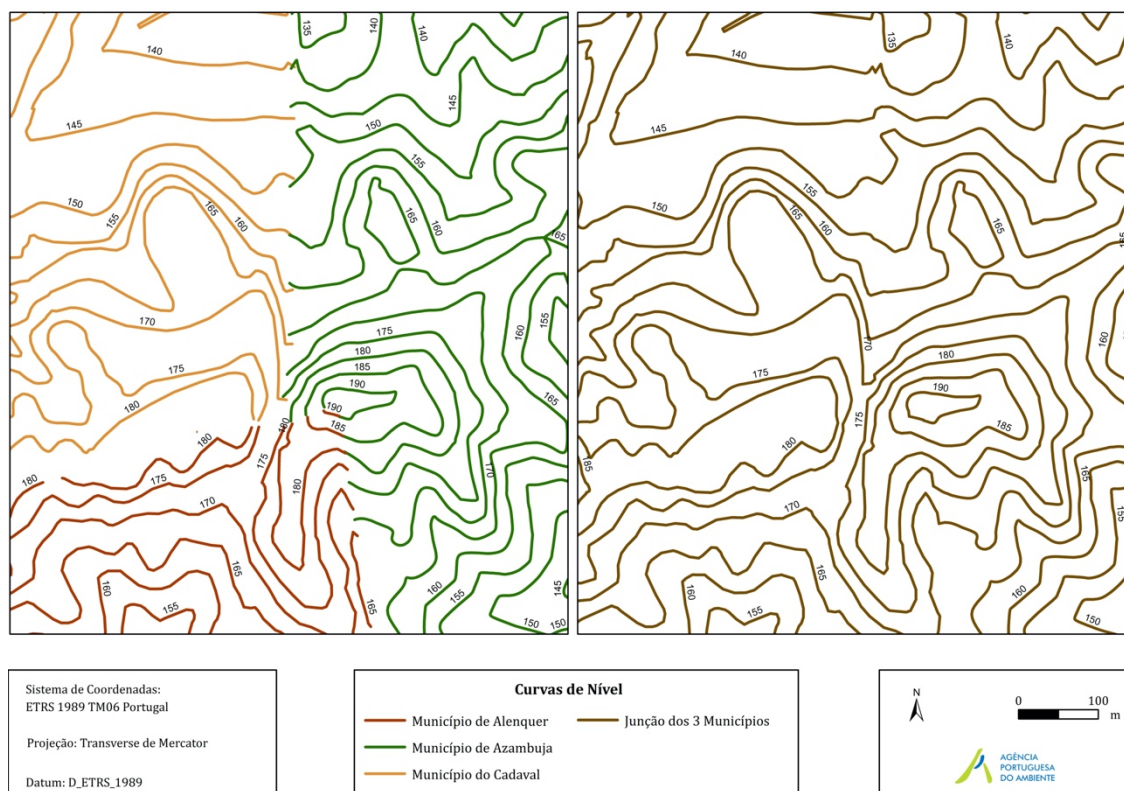


Figura 15 - Amostra da edição das curvas de nível dos três municípios

3.2.2. Criação do Modelo Digital do Terreno

A morfologia do terreno detém uma grande importância na delimitação das áreas de elevado risco de erosão do solo, deste modo a criação do Modelo Digital do Terreno (MDT) é essencial para certos processos de cálculo, bem como a sua correção.

Deste modo, o MDT foi produzido através dos pontos cotados e das curvas de nível (anteriormente corrigidas) à escala de 1/10 000 (Figura 16). Posteriormente foi convertido para estrutura matricial (*raster*) com uma resolução de célula de 5 m e para a sua correção utilizou-se uma ferramenta de preenchimento (*Fill*).

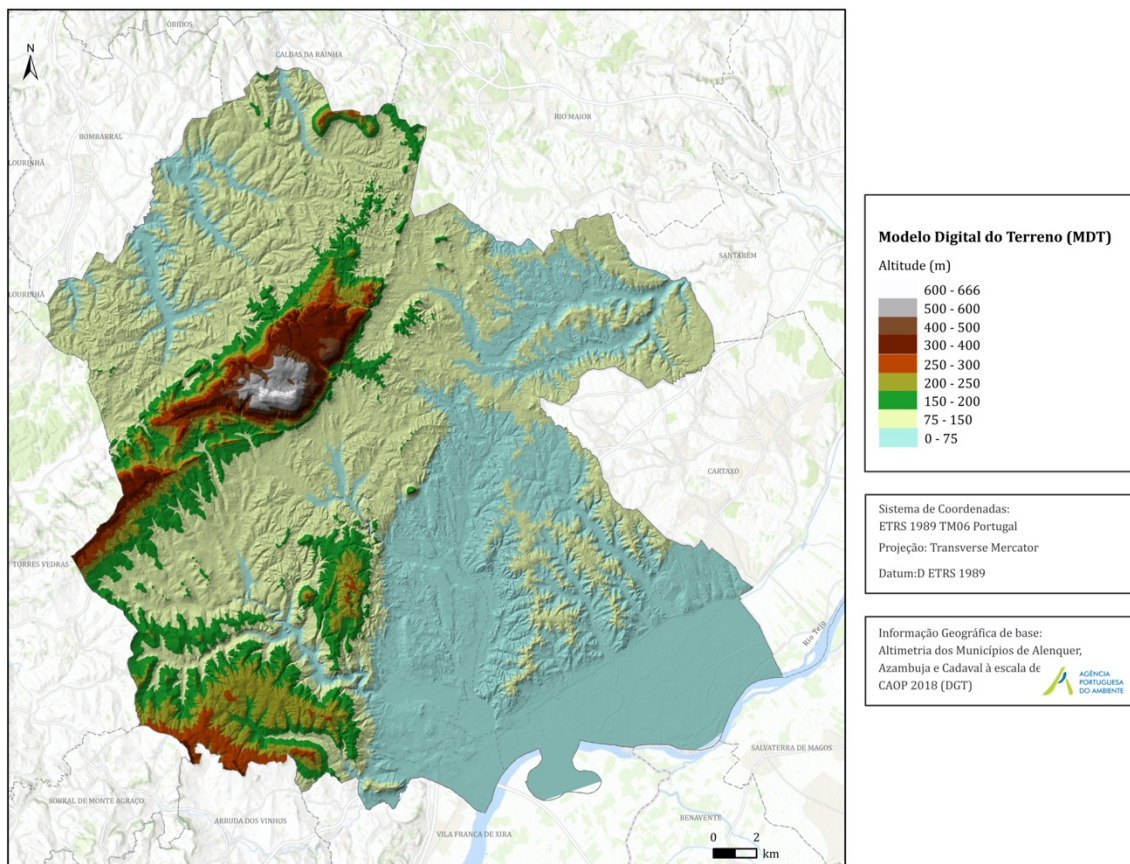


Figura 16 - Modelo Digital do Terreno em TIN

4. Avaliação da Suscetibilidade à Erosão Hídrica do Solo

4.1. À Escala Regional

Com vista a efetuar o enquadramento da temática à escala regional e a contextualizar os municípios estudados posteriormente, começou-se por realizar o cálculo para a região de Lisboa e Vale do Tejo, utilizando duas metodologias distintas e com malha de 100 x 100 metros.

4.1.1. Metodologia do Quadro de Referência Regional (QRR)

A metodologia de Monturiol *et al.* (1978), descrita no terceiro capítulo, considera o cruzamento de dois fatores, o Declive (D) e a Erodibilidade Média dos Solos (K) para variação da erosão hídrica do solo.

A carta de declives da região de Lisboa e Vale do Tejo (em percentagem) foi classificada em 5 classes (Figura 17) de acordo com o quadro apresentado anteriormente (Quadro 7).

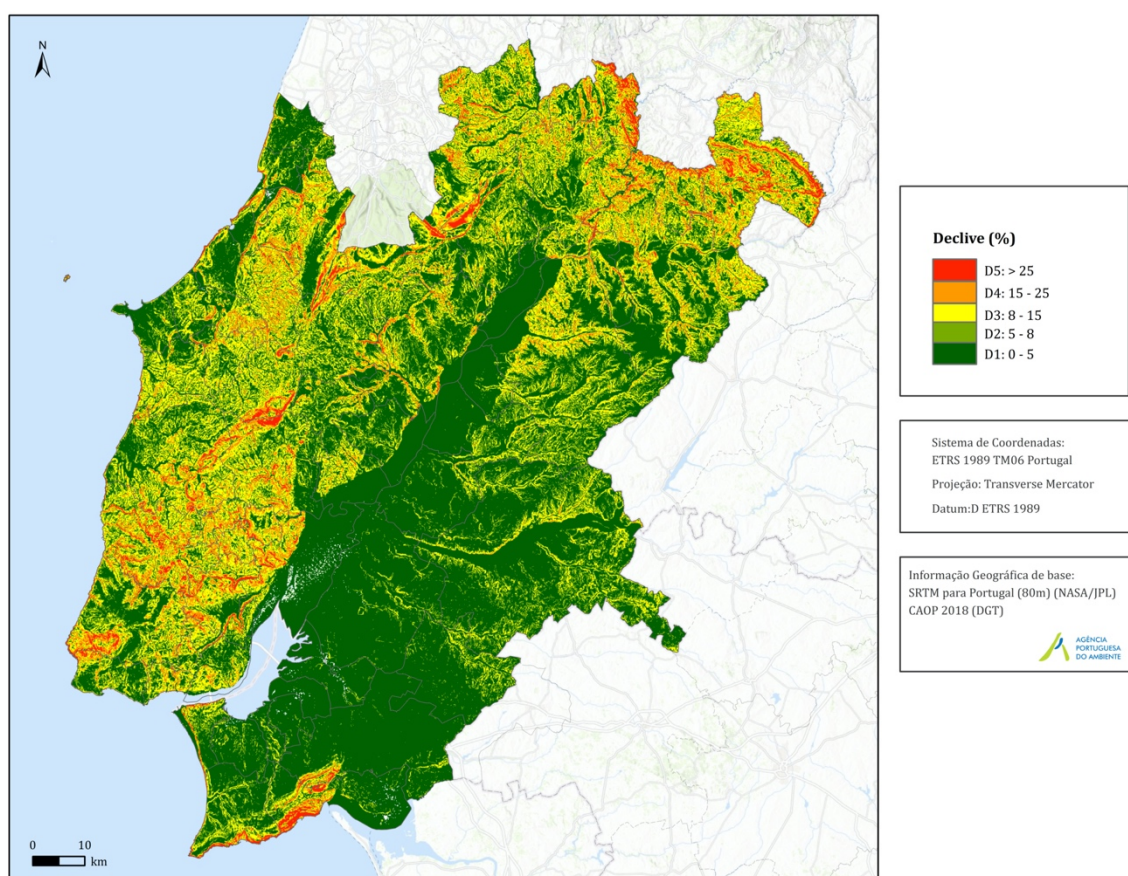


Figura 17 – Declives (%) na Região de Lisboa e Vale do Tejo

A erodibilidade média dos solos (K) foi classificada de acordo com o Quadro 7 mas apenas em duas classes pois o valor máximo de erodibilidade para a área em estudo é de 0,047, não existindo deste modo solos de erodibilidade muito elevada na informação geográfica utilizada (Figura 18). Certamente existem solos com valores superiores, mas tal pode prender-se com o facto de ter utilizado a informação do JRC (com resolução de 500 metros), que é mais generalizada. De referir ainda que os valores de erodibilidade se encontram em unidades do Sistema Internacional (SI).

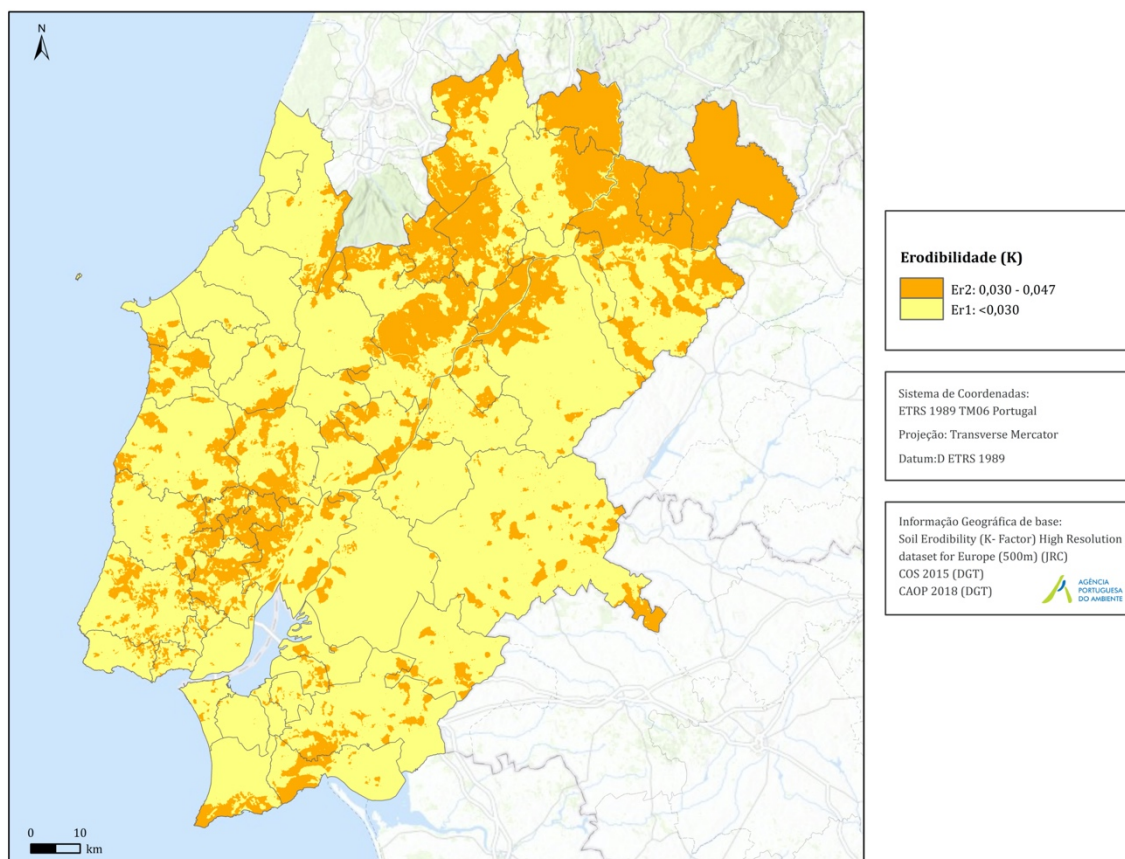


Figura 18 - Erodibilidade dos Solos (Fator K, em $t.ha.h.ha^{-1}.Mj^{-1}.mm^{-1}$) na Região de Lisboa e Vale do Tejo

Posteriormente, intersetou-se a carta de declives (Figura 17) com a erodibilidade dos solos (Figura 18), resultando nas áreas de risco elevado e muito elevado (Figura 19) de erosão hídrica dos solos. Deste modo, consideraram-se que as classes Re 4 (Risco Elevado) e Re 5 (Risco Muito Elevado) detêm as características essenciais para integração em áreas de REN.

Assim, de acordo com esta metodologia, 10,53 % da região de Lisboa e Vale do Tejo classifica-se como área de elevado risco de erosão hídrica do solo, devendo incluir-se na Reserva Ecológica Nacional.

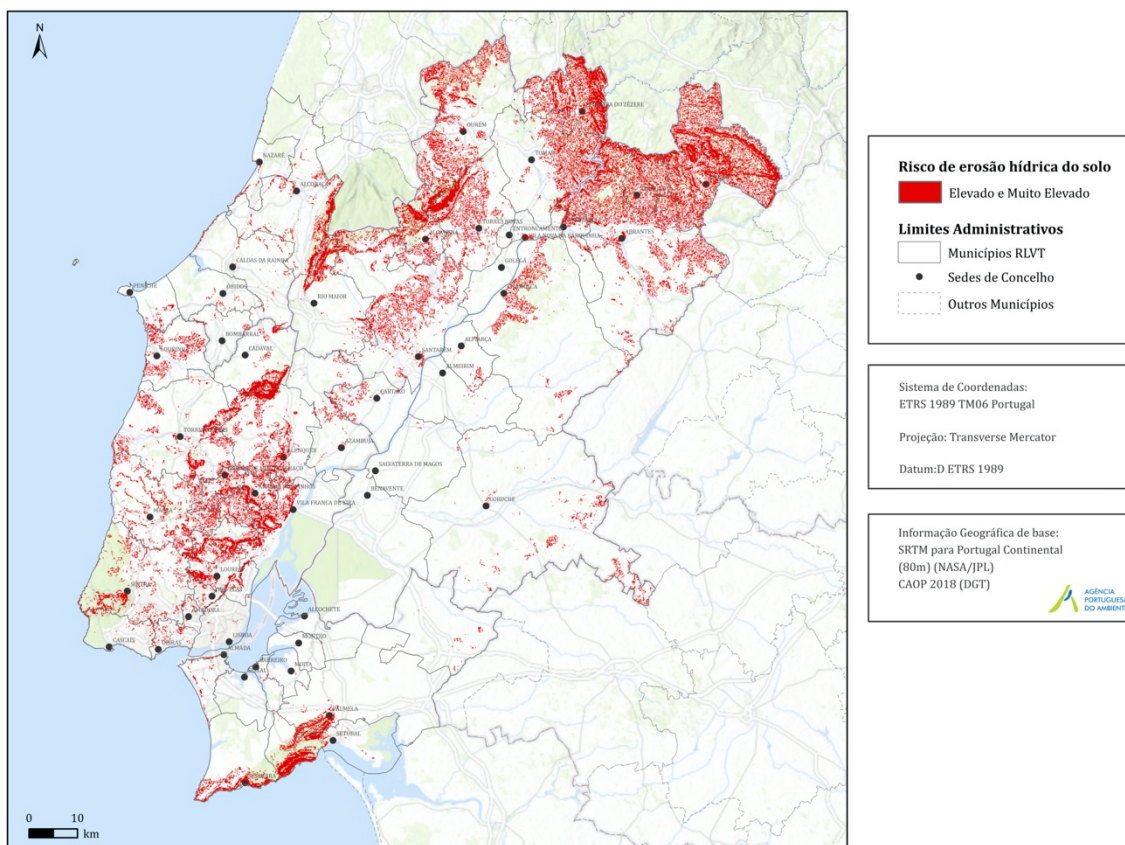


Figura 19 - Risco elevado e muito elevado à erosão hídrica com base na metodologia do Quadro de Referência Regional

4.1.2. Portaria N.º 336/2019

Igualmente descrita no terceiro capítulo, esta metodologia tem como objetivo calcular a erosão potencial do solo, utilizando a erosividade da precipitação (R), a erodibilidade média dos solos (K) e o fator topográfico (LS).

Relativamente ao fator R, extraiu-se a informação referente à região de Lisboa e Vale do Tejo e alterou-se o tamanho de célula para 100 m (Figura 20). Observa-se que junto à costa, no Oeste e na Área Metropolitana de Lisboa são as regiões onde os valores de erosividade de precipitação são mais elevados. Os valores decrescem em direção às regiões interiores, à exceção do setor norte da região do Médio Tejo.

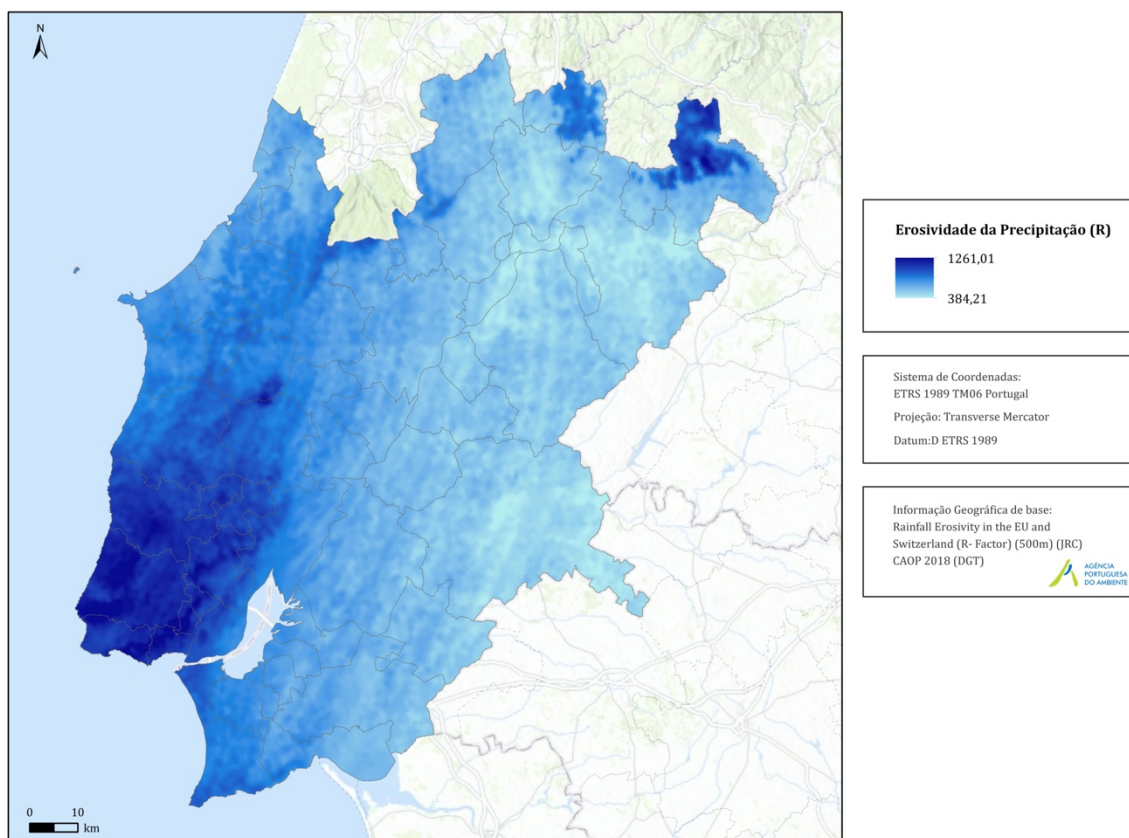


Figura 20 - Fator de erosividade da precipitação (Fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) na RLVT (Fonte: JRC)

O fator K relativo à erodibilidade dos solos foi elaborado com base na informação disponibilizada pelo JRC, tal como a erosividade da precipitação. Através da Figura 21, observa-se que, de acordo com esta fonte cartográfica, os solos não são muito erodíveis, contudo é na região do Médio Tejo que se localizam os solos com valores de erodibilidade mais elevados, sendo aproximadamente de 0,046. Todas as áreas de valor 0 são áreas urbanas, que foram identificadas através da Carta de Ocupação do Solo de 2015.

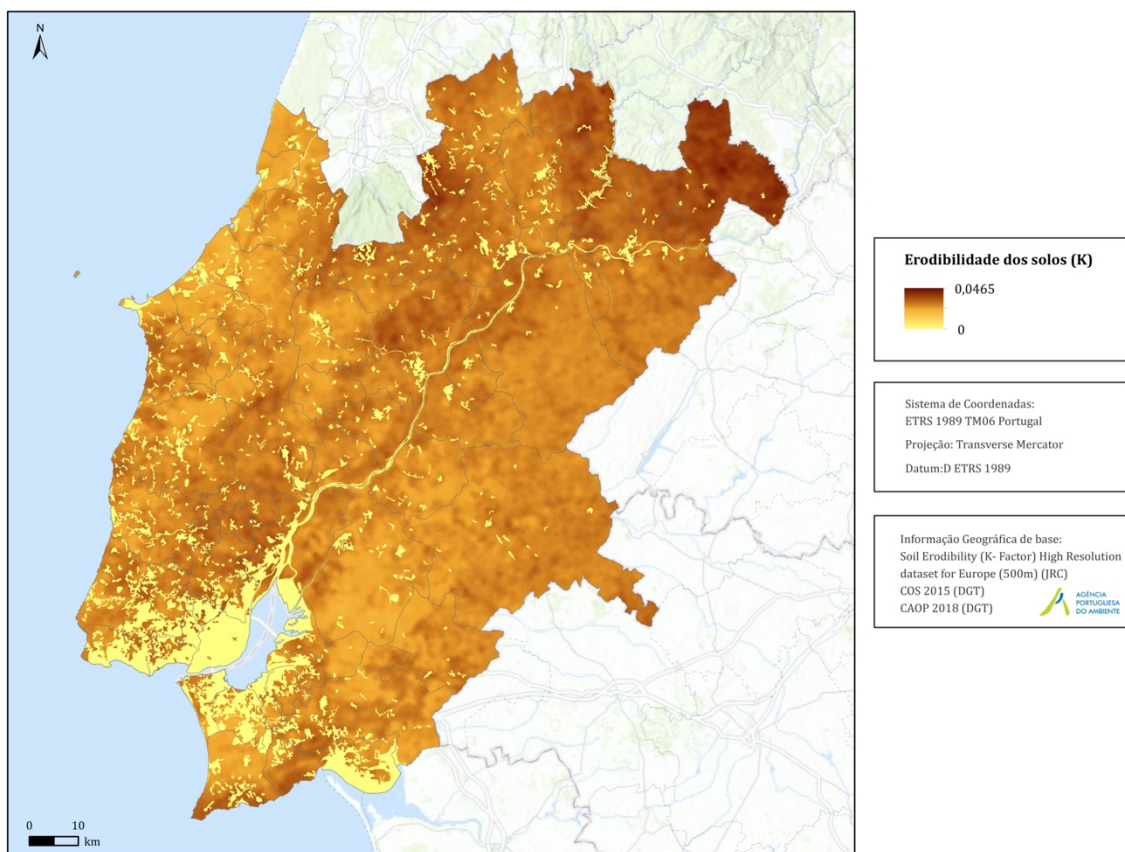


Figura 21 - Fator de erodibilidade dos solos (Fator K, em $t.ha.h.ha^{-1}.Mj^{-1}.mm^{-1}$) na Região de Lisboa e Vale do Tejo

O fator topográfico (LS) é o resultado da combinação de dois fatores, o comprimento da vertente (L) e do declive (S), definido pela expressão da USLE revista (RUSLE).

Segundo Renard *et al.* (1997), a erosão resultante do escoamento superficial encontra-se geralmente concentrada até 121,92 m, embora possam ser encontrados casos em que essa erosão se estende até 304,80 m (1000 pés) de comprimento. Tendo em conta que existe uma tendência para a concentração do escoamento superficial antes de se atingir este valor, tornando assim desadequada a utilização do método, determinou-se, por conveniência e tendo em conta a resolução de 100 m, um comprimento máximo de vertente de 300 m para toda a RLVT. O cálculo deste parâmetro foi efetuado segundo a expressão que se encontra descrita detalhadamente no capítulo 4.2.3.2.

Assim, a Figura 22 apresenta o fator LS para a região de Lisboa e Vale do Tejo, observando que os valores mais elevados se localizam nas áreas onde as altitudes são mais elevadas também.

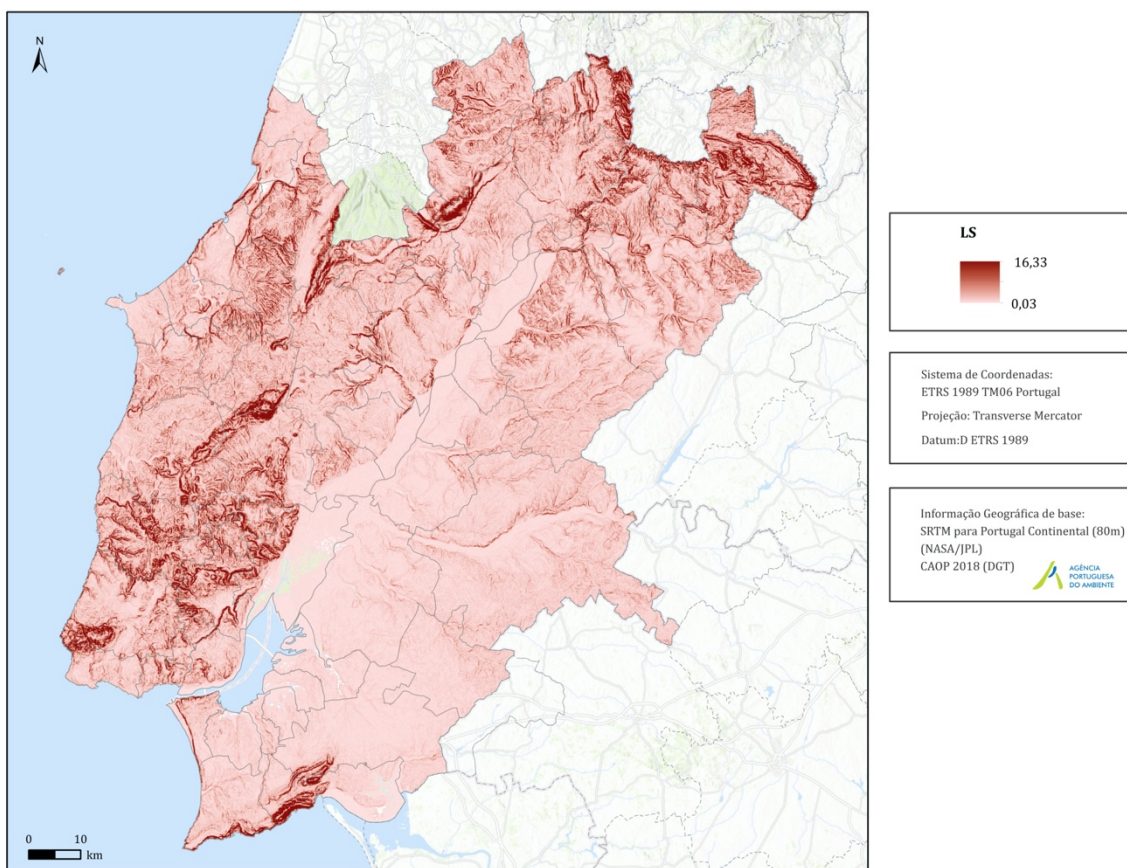


Figura 22 - Fator topográfico (LS) na Região de Lisboa e Vale do Tejo

Para terminar o cálculo, multiplicaram-se os fatores apresentados anteriormente (Figura 23). Deste modo, observa-se que, com base neste método, os valores não são muito elevados na RLVT. Para integração em áreas de REN consideram-se apenas os valores incluídos nas classes de risco moderado (25-55 ton/ha.ano) e elevado (> 55 ton/ha.ano) de erosão hídrica do solo (Figura 24), correspondentes a 2,7 % e 0,8 % da RLVT, respetivamente.

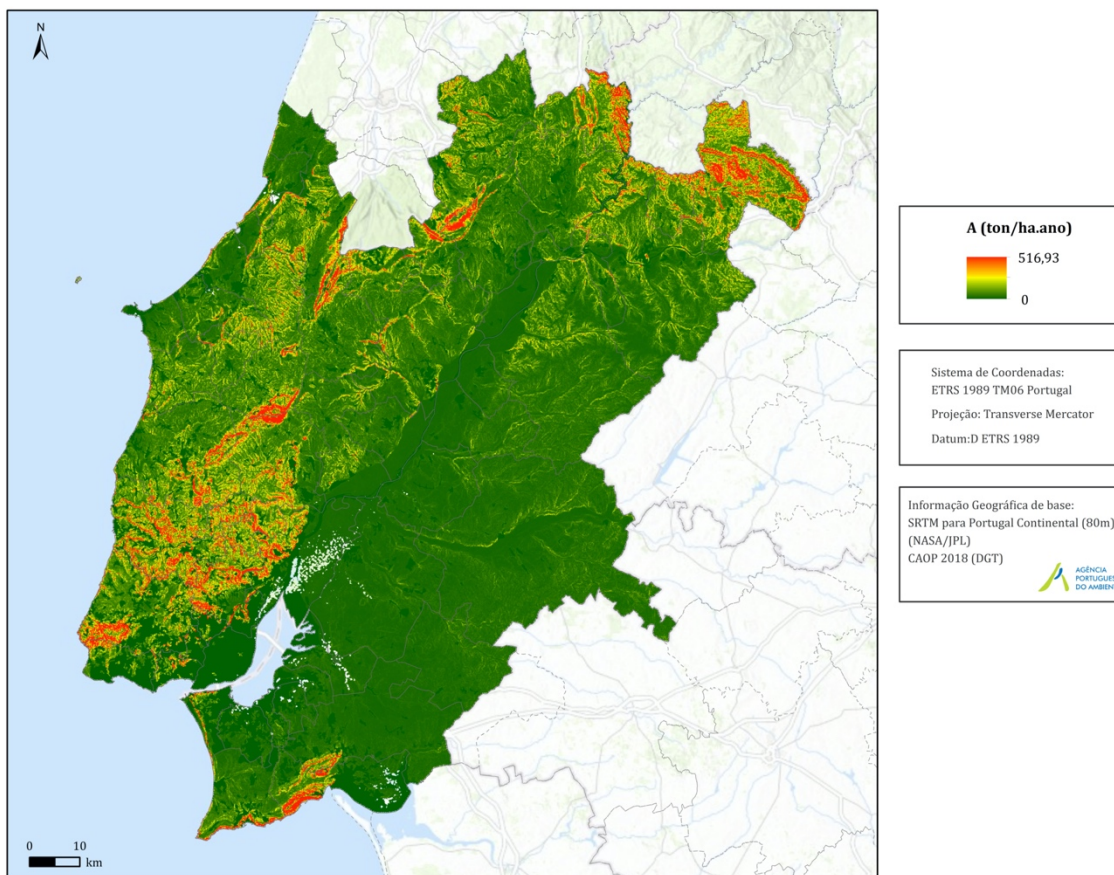


Figura 23 – Erosão Hídrica Potencial (EHP) na Região de Lisboa e Vale do Tejo

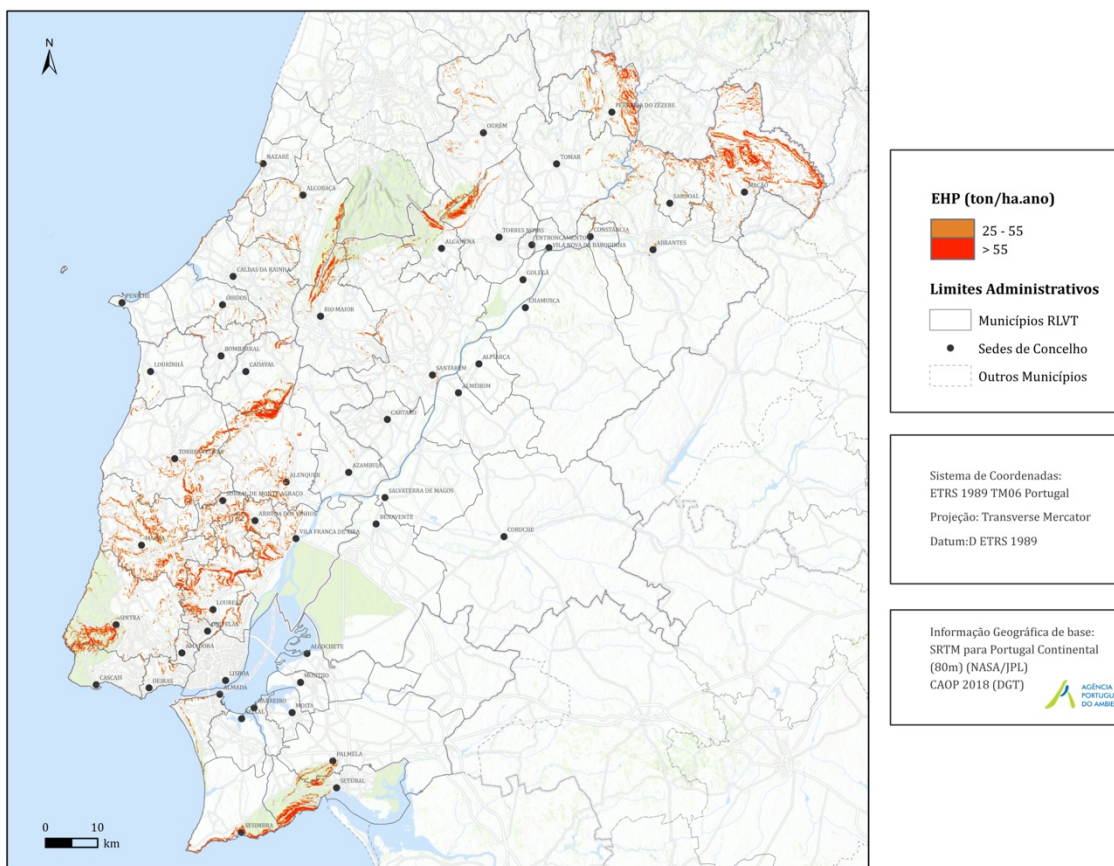


Figura 24 - Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo a considerar em REN na Região de Lisboa e Vale do Tejo

4.1.3. Comparação dos Resultados

Tendo realizado o cálculo com duas metodologias distintas, observa-se que os resultados são bastante diferentes, apesar destas deterem dois parâmetros em comum, a erodibilidade dos solos (K) e o declive (D).

O Quadro 10 apresenta as diferenças de áreas considerando os limiares Re4 e Re5 do Quadro de Referência Regional (QRR) e mais de 25 ton/ha.ano da Erosão Hídrica Potencial (EHP) de acordo com a Portaria n.º336/2019, que compreendem 10, 5 % (7810,73 ha) e 3,5 % (2537,91 ha) da área em estudo.

Relativamente a área das metodologias que se sobrepõem, a percentagem é igual à da erosão hídrica potencial (3,5 %), visto que as manchas resultantes desta metodologia se sobrepõem completamente à do Quadro de Referência Regional (Figura 25), não se conseguindo visualizar manchas de cor de laranja que corresponde à classe da EHP. A maior concentração de manchas de erosão hídrica do solo localiza-se sobretudo em áreas mais declivosas, sendo que este parâmetro influencia bastante o resultado final. Por outro lado, a EHP detém um resultado mais baixo, verificando-se que as manchas de erosão não são tão concentradas, contudo localizam-se também onde os declives são maiores.

Quadro 10 - Comparação entre as áreas a integrar em REN segundo as duas metodologias utilizadas (QRR e EHP)

Metodologia	Limiares	Área	
		%	ha
Quadro de Referência Regional (QRR)	Re4 e Re5 e > 25 ton/ha.ano	10,5	7810,73
Erosão Hídrica Potencial (EHP)		3,5	2537,91
Área sobreposta entre metodologias		3,5	2537,91

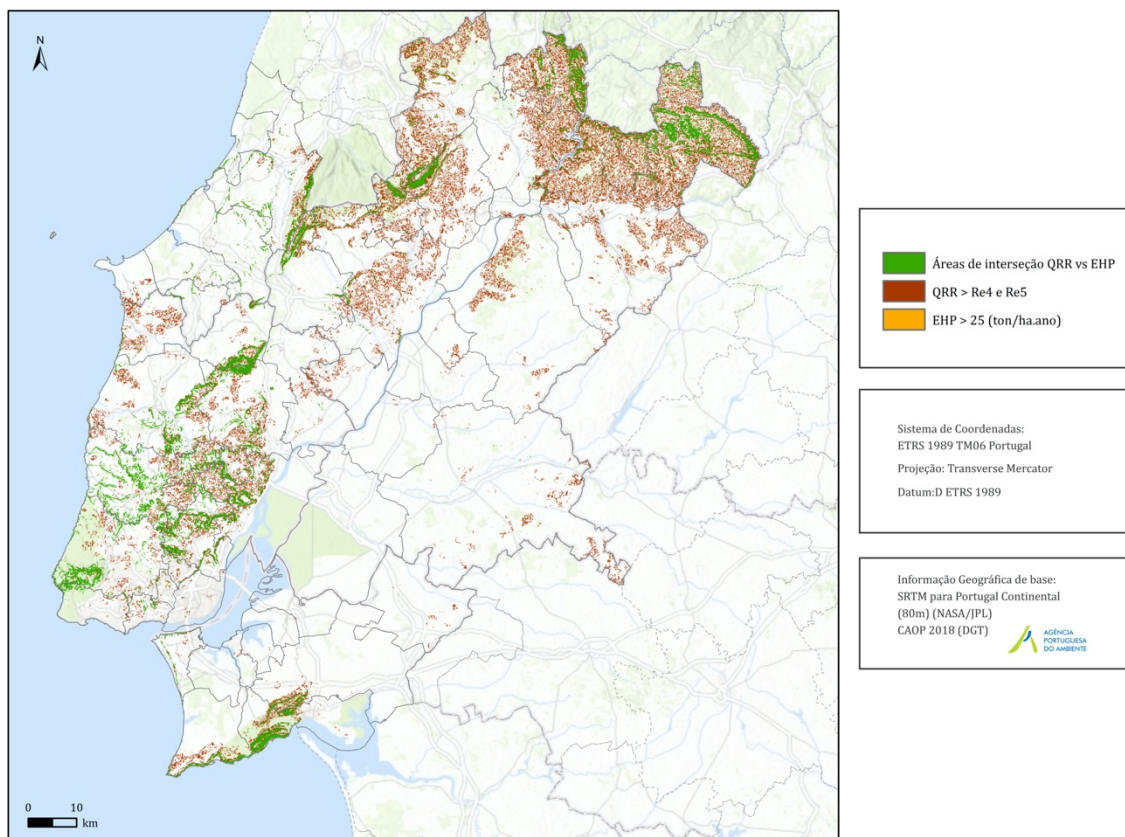


Figura 25 - Áreas a integrar em REN na Região de Lisboa e Vale do Tejo, de acordo com as metodologias do Quadro de Referência Regional e a Portaria n.º336/2019

4.2. À Escala Municipal

A esta escala pretende-se efetuar o cálculo da erosão com maior pormenor (resolução 5 m) para os municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval. Deste modo, aplicou-se duas metodologias diferentes:

- A Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação nº 71/2012, de 30 de novembro, que tem como objetivo calcular a Perda Específica do Solo (Pse);
- A Portaria N.º 336/2019 de 26 de setembro, atualmente em vigor, em que se pretende calcular a Erosão Potencial do Solo (EPS).

De seguida, descreve-se cada um dos fatores que foram utilizados para o cálculo de acordo com as orientações de cada metodologia.

4.2.1. Erosividade da Precipitação (Fator R)

Para o fator de erosividade da precipitação as duas metodologias recorrem a fontes de informação distintas.

Assim, de acordo com a RCM nº81/2012, de 3 de outubro, utilizou-se o Mapa de erosividade da Precipitação elaborado pelo INAG/DMSIDH (2003), de âmbito nacional, considerando eventos com precipitação total superior a 50,8 mm, referentes a 449 postos udométricos de Portugal continental (valores em T.pé/acre, de acordo com a referida fonte). Este mapa encontra-se disponível em estrutura matricial, possuindo uma resolução de 250 m, a qual foi transformada para uma resolução de 5 m, utilizada nesta parte do trabalho; recortou-se, depois, pela área de estudo.

A Portaria n.º 336/2019 de 26 de setembro, refere que a informação para este fator esteja em unidades do Sistema Internacional ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e que se baseie em trabalhos técnicos e científicos. Deste modo, recorreu-se à informação matricial elaborada em Pena (2016), tendo por base o modelo de precipitação do projeto "Potential Land-Use Ecological Plan. Application to Portugal - PTDC/AUR-URB/119340/2010" com resolução de 1 km. Também neste caso foi necessário alterar o tamanho de célula para a resolução pretendida (5 m), tendo posteriormente sido extraída a informação relativa à área em estudo.

Devido à grande diferença entre as resoluções originais (250 m e 1 km) e a resolução adotada nesta parte do trabalho (5 m), a transformação da resolução não foi feita de forma direta. Com o objetivo de criar superfícies com variação mais suave, mas mantendo os valores originais, optou-se por converter a estrutura matricial para pontos, efetuando depois um processo de interpolação. Aplicou-se, assim, um método de interpolação exato, neste caso o IDW (Inverse Distance Weighted).

É assim perceptível que os dois mapas de erosividade da precipitação são diferentes (Figura 26 e Figura 27) mas em ambos se verifica que os valores de erosividade são mais elevados na Serra de Montejunto. No limite sul da área de estudo, junto ao rio Tejo observa-se que os valores são relativamente baixos, comparativamente ao setor norte. Pode-se dizer que onde se verificam valores de erosividade de precipitação mais altos, são em áreas onde a altitude é maior.

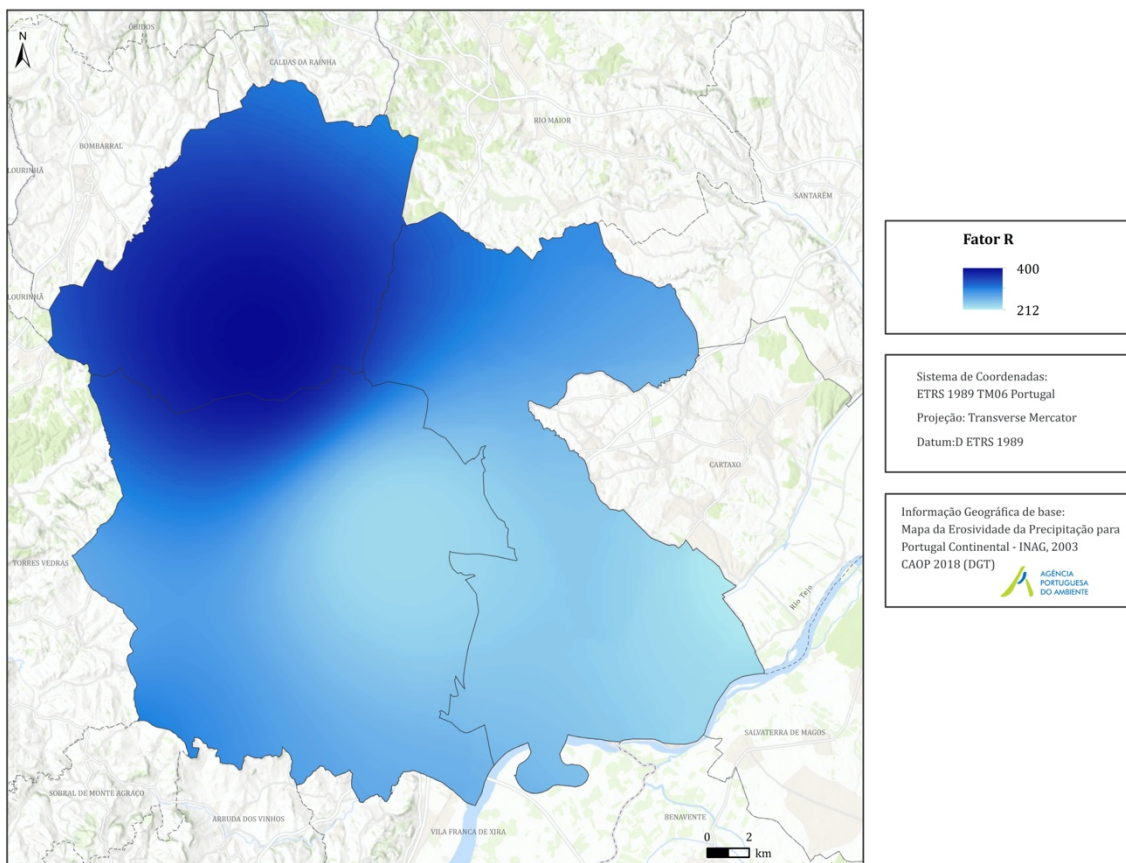


Figura 26 – Erosividade da precipitação (Fator R, em T.pé/acre) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval (INAG, 2003)

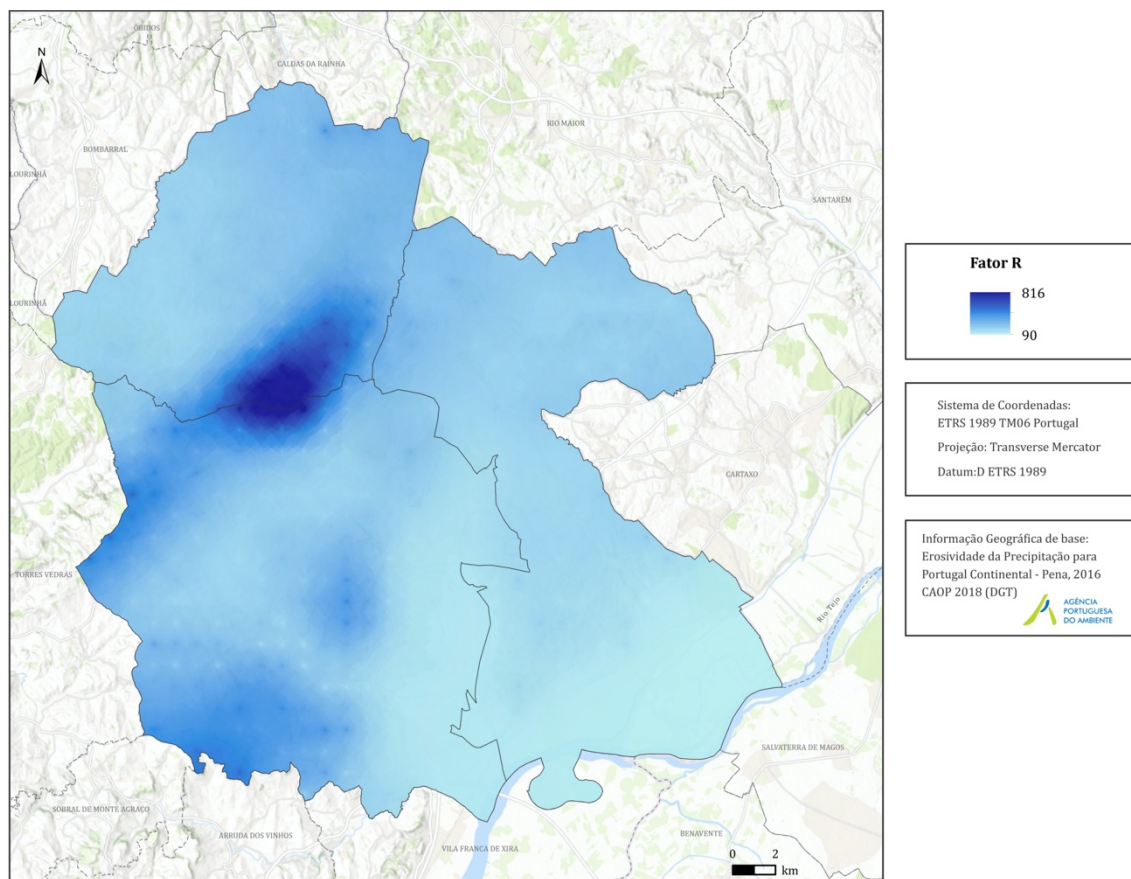


Figura 27 – Erosividade da Precipitação (Fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval (Pena, 2016)

4.2.2. Erodibilidade dos Solos (Fator K)

Com o objetivo de analisar a resistência relativa dos solos ao destacamento pela chuva ou escoamento superficial, é preciso conhecer certas características, tais como: a permeabilidade, estrutura, textura e matéria orgânica (Pimenta, 1995).

Tendo como referência os estudos realizados por Pimenta (1998, 1999) baseados nos trabalhos de Cardoso (1965), por Pena (2016) e pela DGADR, foram atribuídos os valores de erodibilidade a cada tipo de solo da área de estudo (Quadro A 1).

Para este fator utilizou-se a Carta de Solos de Portugal à escala 1/25000 disponibilizada pela DGADR, sendo que a tabela de atributos associada inclui três tipos de solos por cada polígono, que cada um ocupa no mínimo 10 % do mesmo. Nele vem também associada a frequência correspondente a cada tipo de solo. Assim, o valor de erodibilidade foi calculado através da média ponderada em unidades do sistema internacional (SI) segundo a percentagem de cada tipo de solo existente no polígono.

De acordo com a Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº81/2012, de 3 de outubro, as unidades utilizadas no fator K são métricas (Figura 28) enquanto na metodologia da Portaria n.º 336/2019 de 26 de setembro as unidades são do SI (Figura 28). Deste modo, a fim de corresponder à RCM nº81/2012, foi necessário converter os valores de unidades do SI para métricas¹⁴. Obviamente, a repartição espacial é igual, diferindo apenas nas unidades de medida.

Deste modo, verifica-se que o valor médio de K para os três municípios é de 0,035 ton.ha.h.ha⁻¹.Mj⁻¹.mm⁻¹ (unidades SI). Os afloramentos rochosos bem como as áreas sociais não possuem solo sendo-lhes atribuído o valor de erodibilidade de 0. À exceção destas duas categorias, observa-se que junto ao rio Tejo os valores K são relativamente baixos pois trata-se de solos aluvionares, característicos da bacia do rio Tejo. Junto à Serra de Montejunto predominam os solos calcários bem como os afloramentos rochosos, e a norte da área de estudo, onde os valores de K são mais elevados, correspondem a solos argiluvitados.

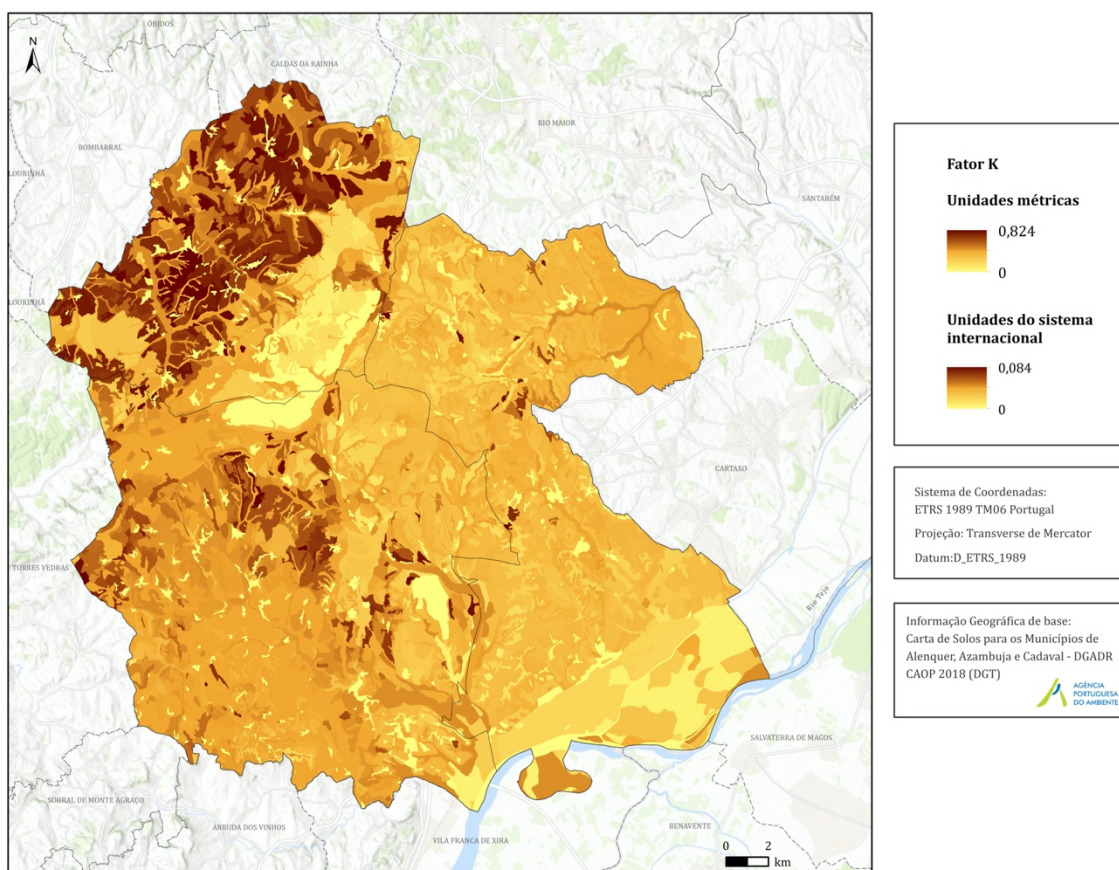


Figura 28 – Erodibilidade dos solos (Fator K) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

¹⁴ A conversão de unidades métricas e sistema internacional foi efetuada através do valor da aceleração gravítica 9,81 (Portaria n.º 336/2019).

4.2.3. Fator Topográfico (Fator LS)

4.2.3.1. USLE (Universal Soil Loss Equation)

A expressão que se apresenta de seguida é a que se encontra descrita na Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º81/2012, adaptada, correspondente à USLE. Tal como já foi referido anteriormente, o fator LS é o resultado da relação entre o comprimento da vertente (L) e o declive (S), determinado pela expressão que se segue:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m (65,41 \operatorname{sen}^2 \theta + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 0,065)$$

Onde:

λ - Comprimento acumulado da vertente (em metros)

m - coeficiente dependente do declive

θ - Ângulo associado à inclinação do desnível em radianos

Para a determinação do comprimento máximo da vertente, recorre-se ao método dos fluxos acumulados. Deste modo, a partir do MDT corrigido (com o *Fill*) começou-se por calcular a direção dos fluxos (*Flow Direction*) e após efetuou-se o cálculo dos fluxos acumulados (*Flow Accumulation*). Posteriormente, tal como foi dito na descrição do fator LS para a RLVT, com base na bibliografia de Wischmeier e Smith (1978), determinou-se que o comprimento máximo da vertente para a área em estudo é de 305 metros (valor arredondamento de 1000 pés, que correspondem a 304,8 m). Assim, os comprimentos de vertente que se encontrem iguais ou abaixo a 305 metros são considerados verdadeiros, sendo que os que se encontrem acima deste valor assumem também o valor máximo de 305. Atribui-se deste modo a seguinte condição:

$$CON([mdt_flowacc] > 305, 305, [mdt_flowacc])$$

em que *mdt_flowacc* são os fluxos acumulados.

A Figura 29 apresenta o resultado dos vários processos efetuados. Visualiza-se que onde o valor do comprimento da vertente é máximo, identifica-se facilmente as áreas de acumulação, principalmente no sul da área de estudo, junto ao rio Tejo. Verifica-se também que estas áreas possuem declives relativamente fracos.

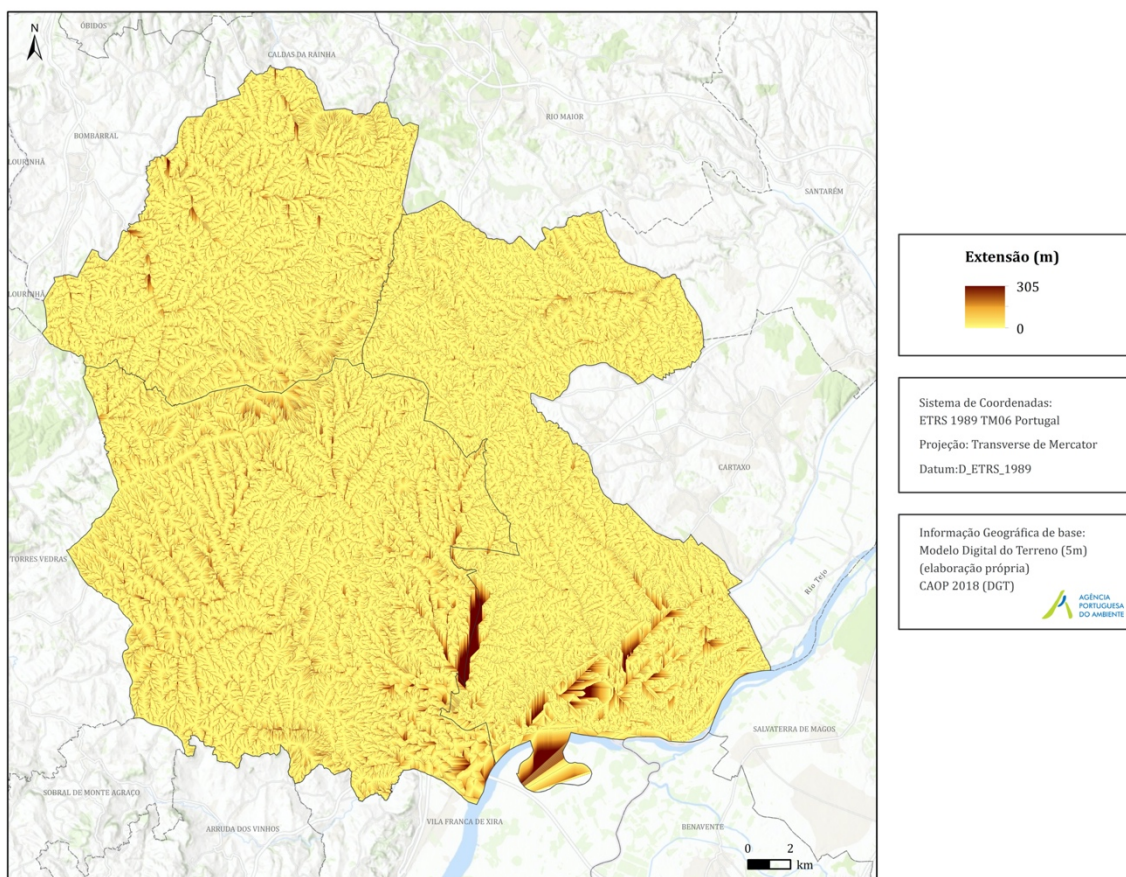


Figura 29 – Extensão das vertentes (λ), em metros, nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Através do Quadro 11, atribui-se os seguintes valores ao coeficiente dependente do declive (parâmetro m):

Quadro 11 - Valores a atribuir ao parâmetro m

Declive (S)	m
$S \geq 5\%$	0,54
$3\% \leq S < 5\%$	0,40
$1\% \leq S < 3\%$	0,30
$S < 1\%$	0,20

Após a criação do mapa de declives em percentagem, classificou-se o mesmo e posteriormente adicionou-se um novo campo à tabela de atributos, atribuindo os valores acima apresentados a cada classe (Quadro 11). Obteve-se assim um novo mapa com os valores do expoente m (Figura 30).

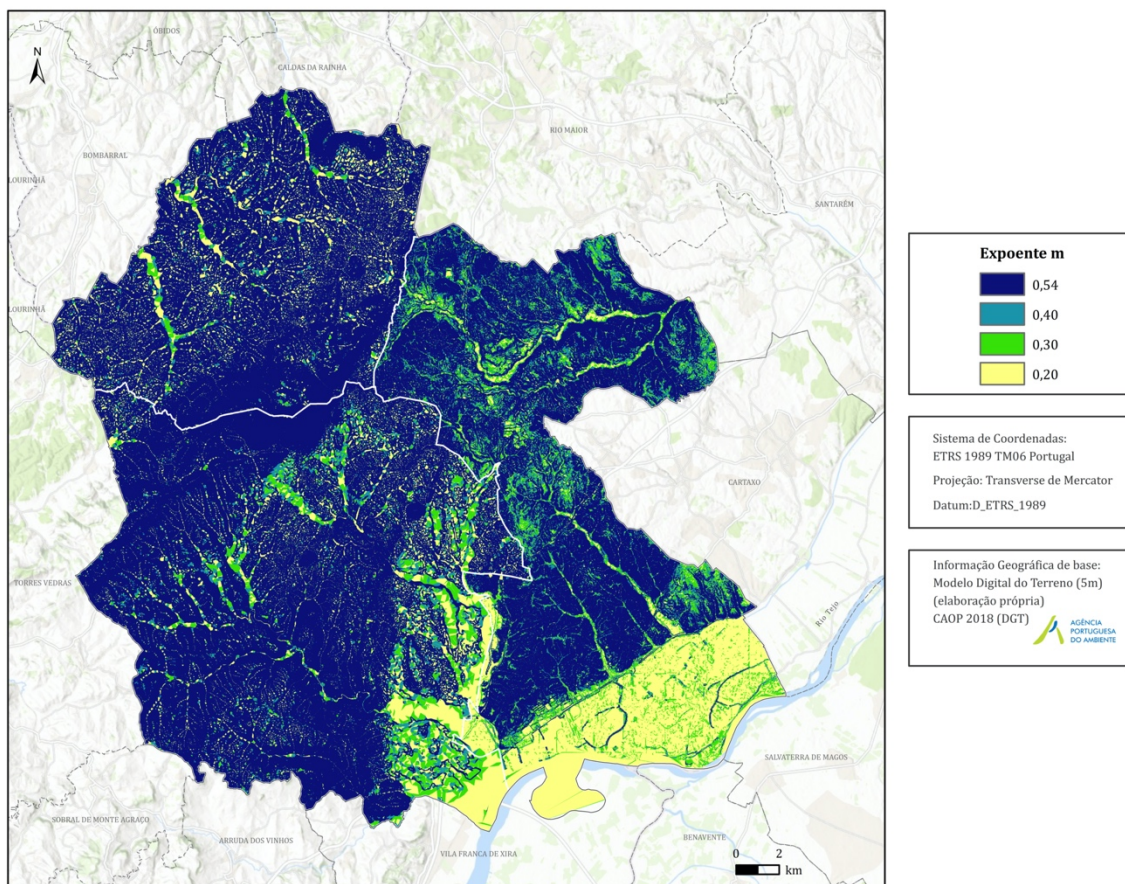


Figura 30 – Expoente m, dependente do declive nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Para o cálculo do declive em radianos (parâmetro θ) foi necessário converter o mapa de declives em graus para radianos, multiplicando-o por 0,0174532925 (1° grau = 0,0174532925 radianos), pois para cálculos que envolvam funções trigonométricas (por exemplo, cálculo de um seno de um ângulo), o ArcGIS necessita que esse esteja em radianos (Figura 31).

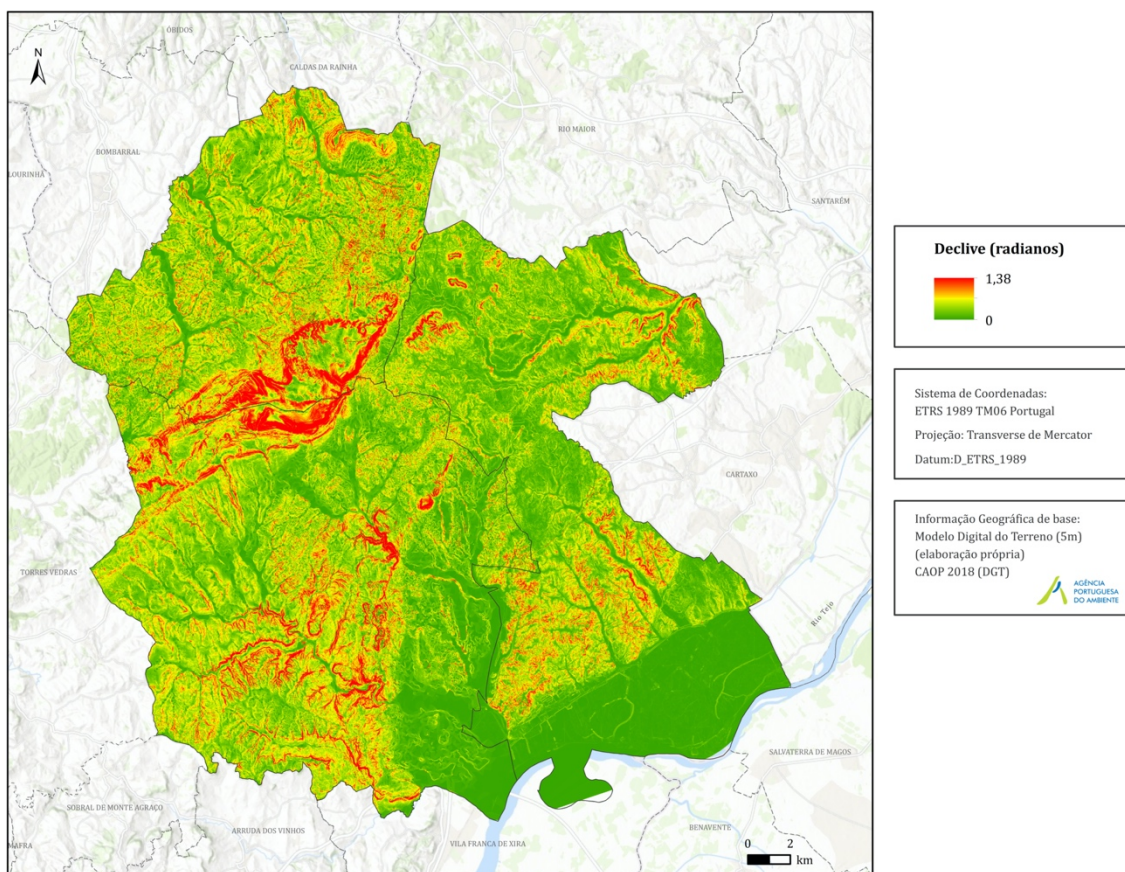


Figura 31 – Declives (radianos) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Os diversos cálculos, realizados no contexto das diversas fórmulas e expressões, foram efetuados, ao longo de todo este processo, utilizando a ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS.

Assim, para obtenção do LS calculou-se primeiramente o fator L de acordo com a seguinte expressão:

$$Power(("ext_vertentes"/22.13), "m")$$

em que *ext_vertentes* é o mapa de extensão das vertentes e *m* é o mapa do parâmetro *m*.

E posteriormente o fator S usando a fórmula que se segue:

$$(65.41 * Power(\sin("decl_radianos"), 2)) + (4.56 * \sin("decl_radianos")) + 0.065)$$

em que *decl_radianos* é o mapa de declives em radianos.

Após estas duas operações, multiplicou-se o fator L pelo fator S, obtendo assim o fator LS visualmente representado na Figura 32. Analisando o resultado, verifica-se que os valores mais elevados de LS localizam-se onde existem declives mais acentuados,

destacando-se principalmente a Serra de Montejunto. Junto ao rio Tejo e nos fundos de vale, visto serem áreas relativamente plana e de baixo declive, os valores de LS são igualmente baixos.

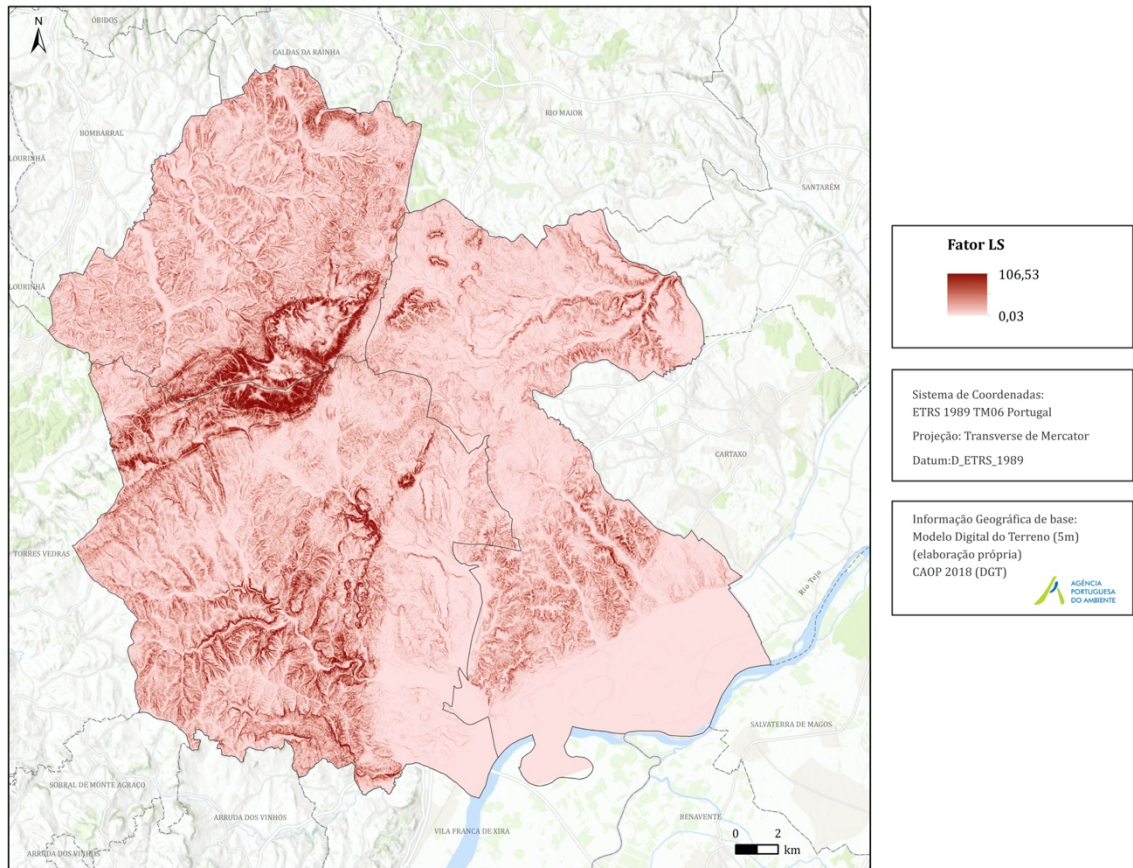


Figura 32 - Fator LS, segundo a equação da USLE (RCM n.º81/2012), nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

4.2.3.2. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

Tendo em conta as atualizações metodológicas presentes na Portaria n.º 336/2019, a fórmula de cálculo do fator LS foi alterada passando a utilizar-se a EUPS revista (RUSLE). De acordo com esta mesma, o fator LS é determinado pela expressão $L*S$, seguinte:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

e

$$S = \begin{cases} S1 = 10,8 \sin \theta + 0,03, & \text{para declive} < 9\% (5,14^\circ) \\ S2 = 16,8 \sin \theta - 0,50, & \text{para declive} \geq 9\% (5,14^\circ) \end{cases}$$

Em que:

λ é o comprimento do desnível, em metros, desde o início do fluxo até cada ponto da vertente;

θ é o ângulo associado à inclinação do desnível em radianos;

m é o coeficiente dependente do declive

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Em que:

$$\beta = \frac{\frac{\sin \theta}{0,0896}}{[0,56 + 3 * (\sin \theta)^{0,8}]}$$

Inicialmente, para o cálculo do L procedeu-se ao cálculo dos modelos hidrológicos que permitem simular a forma de escoamento superficial. Tal como no cálculo do LS efetuado anteriormente, após a correção do MDT (*Fill*) calculou-se a direção dos fluxos (*Flow Direction*) e os fluxos acumulados (*Flow Accumulation*).

Continuamente, com o mapa de fluxos acumulados criado anteriormente, obtém-se a rede hidrográfica, relativa ao MDT. Este passo deve ser efetuado sempre que a rede hidrográfica não seja fornecida previamente. Tendo como referência as curvas de nível, procedeu-se à eliminação dos troços em excesso presentes na rede de drenagem. Este é um processo de tentativas até chegar ao melhor resultado. Através da ferramenta *Stream Order* é então gerada a rede hidrográfica com base no MDT sendo que neste caso utilizou-se a magnitude de Shreve com valor 10. Assim, estabeleceu-se uma condição (*Con*) atribuindo valor de zero a todas as magnitudes superiores ou iguais a 10, para quando se

calculasse o LS ficarem com o valor de zero. Estas são áreas de rede organizada onde existe erosão hídrica superficial, mas não cumprem as condições de análise da RUSLE que se adequa ao escoamento em vertente não concentrado. Para finalizar este processo, reclassificou-se a rede hidrográfica em que as linhas de água, ficam com valor de zero e as áreas sem rede hidrográfica (“NoData”) com valor de 1, com objetivo de quando for multiplicado pelo resultado do LS final, as células manterem o valor original do LS.

Após a obtenção da rede hidrográfica, efetuou-se o cálculo da extensão das vertentes, em metros (Figura 33). Deste modo, multiplicou-se os fluxos acumulados pela dimensão da célula (5 m) e estabeleceu-se uma condição (*Con*) para limitar o comprimento máximo da vertente a 305 metros, tal como foi referido anteriormente.

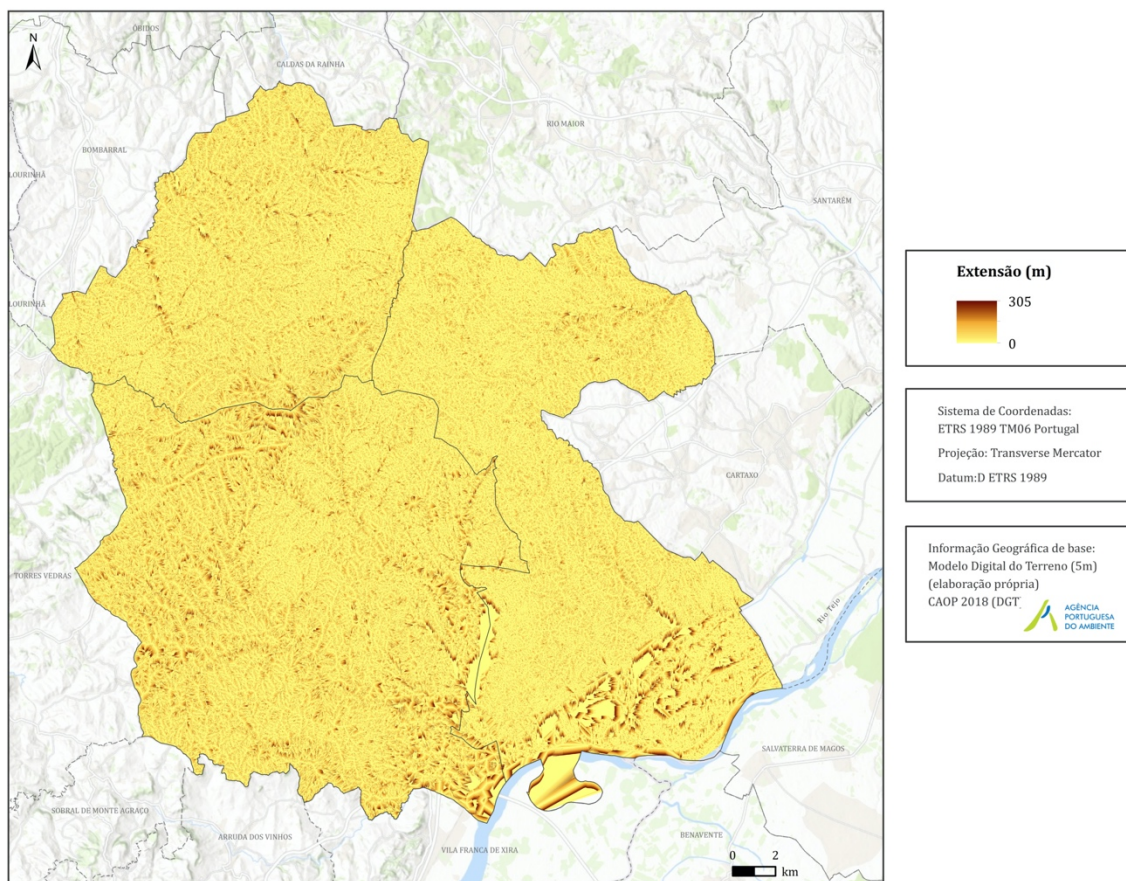


Figura 33 - Extensão das vertentes (λ), em metros (RUSLE) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Criou-se, posteriormente, para obter o ângulo associado à inclinação do desnível em radianos, os mapas de declives em graus, em percentagem e em radianos, exatamente com o mesmo processo utilizado no cálculo do fator LS segundo a USLE (Figura 31).

O coeficiente dependente do declive, ou seja, o expoente m associa o declive à forma de erosão laminar que pode ser em toalha (escorrência difusa) ou em sulcos ou ravinamento (escorrência concentrada). Assim, a partir dos declives em radianos,

procedeu-se ao cálculo do expoente m começando pelo parâmetro beta (β) aplicando a fórmula seguinte:

$$\sin("Decl_{(RAD)}") / 0.0896 / (0.56 + 3 * Power(\sin("Decl_{(RAD)}"), (0,8)))$$

em que $Decl_{(RAD)}$ é o mapa de declives em radianos.

Seguidamente, calculou-se o expoente m (Figura 34) de acordo com a fórmula seguinte:

$$"beta" / ("beta" + 1)$$

em que $beta$ é o resultado obtido no passo anterior.

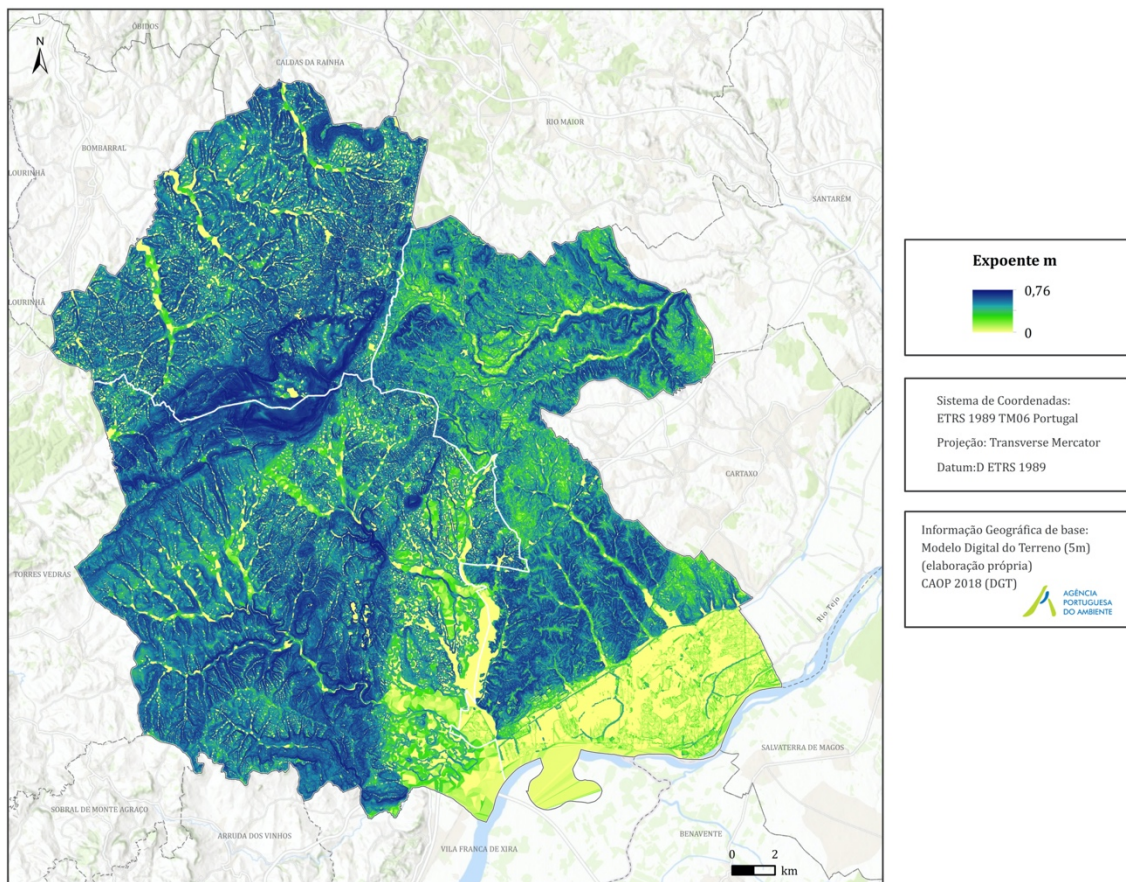


Figura 34 – Expoente m , dependente do declive (RUSLE) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Tendo obtidos todos os parâmetros necessários para efetuar o cálculo do LS, o passo seguinte é aplicar a fórmula da RUSLE apresentada no início do processo.

Deste modo, para calcular o L, utilizou-se a seguinte expressão:

$$Power("Vert_{ext}" / 22.13, "m")$$

em que $Vert_{ext}$ é o mapa de extensão da vertente (λ), em metros, obtida a partir do fluxo acumulado e m é o mapa do parâmetro m .

Por sua vez, o cálculo do S efetuou-se de acordo com as fórmulas que se seguem:

$$S1 = 10.8 * \sin("Decl_{(RAD)}") + 0.03$$

e

$$S2 = 16.8 * \sin("Decl_{(RAD)}") - 0.5$$

Estas fórmulas foram integradas com base numa função condicional, da seguinte forma:

$$Fator\ S = Con("Decl_{(\%)}" < 9, 10.8 * \sin(Decl_{(RAD)}) + 0.03, 16.8 * \sin(Decl_{(RAD)}) - 0.5)$$

ou seja, se o declive ($Decl_{(\%)}$) for inferior a 9 % o Fator S é calculado com a primeira fórmula da expressão, e se for igual ou superior a esse limite é calculado com a segunda fórmula. Tendo obtido os dois parâmetros (L , S) procedeu-se à sua multiplicação, obtendo assim o fator topográfico.

Tendo já efetuado a reclassificação da rede hidrográfica anteriormente, é apenas preciso multiplicar o mapa obtido anteriormente (com a condição) pela rede hidrográfica reclassificada, obtendo-se assim o LS da USLE revista (Figura 35). Visualiza-se que tal como o LS da USLE os valores mais altos verificam-se nos declives mais acentuados, com destaque para os municípios do Cadaval (principalmente a Serra de Montejunto) e Alenquer. Nos fundos de vale e junto ao rio Tejo os valores são baixos devido as áreas de baixo declive e planas.

Comparando os dois resultados do cálculo do LS , verifica-se que existem algumas diferenças, nomeadamente na Serra de Montejunto, mas em termos gerais são bastante parecidos.

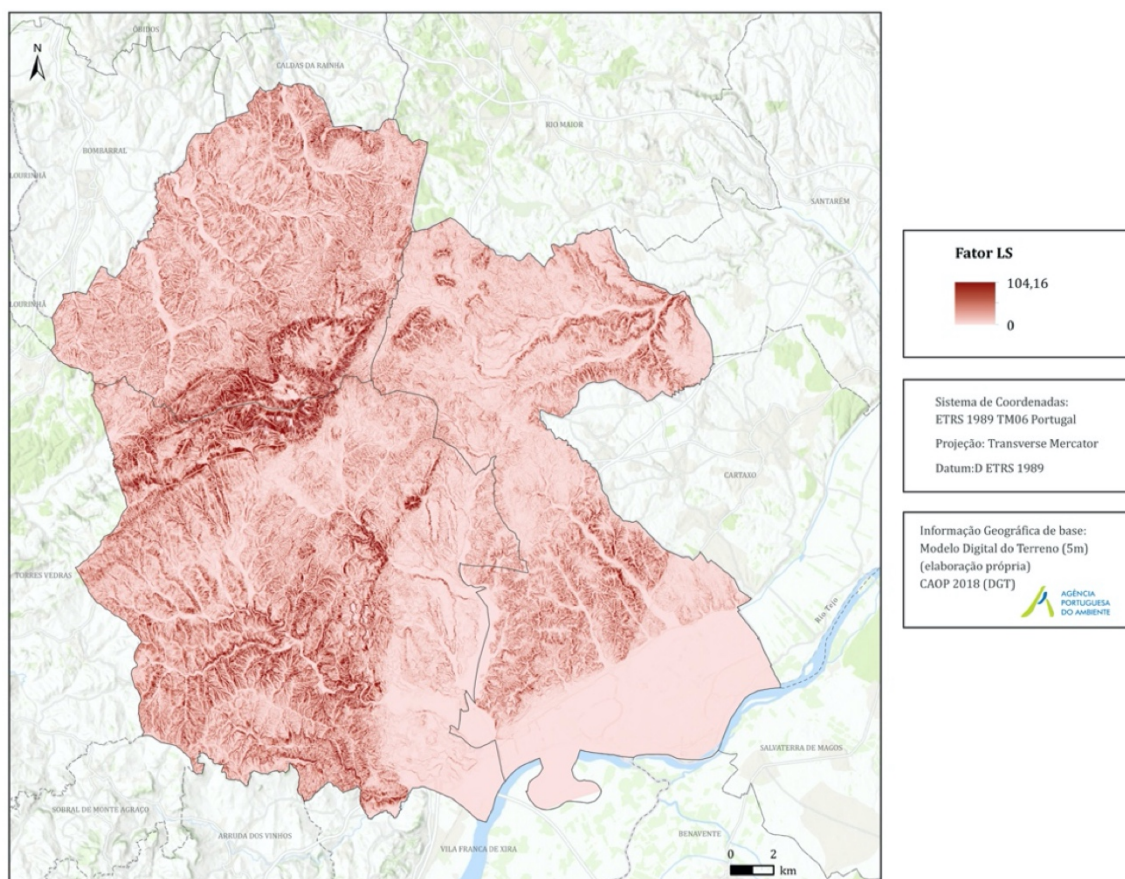


Figura 35 - Fator LS segundo a equação da RUSLE (Portaria n.º336/2019) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

4.2.4. Fator C e P

Estes dois fatores são aplicados de acordo com a metodologia presente na Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº81/2012, de 3 de outubro. Contudo o fator P pode também ser aplicado, de acordo com a metodologia atualmente em vigor (Portaria n.º 336/2019), mas nesta, o fator P refere-se às práticas agrícolas e não à densidade populacional como na RCM nº81/2012. Deste modo, deve considerar-se P quando se verifica socos e/ou muros de contenção de terra que contribuem de forma significativa para a redução da erosão potencial do solo.

O fator C é o fator de uso do solo e coberto vegetal, assim é necessário ter em consideração o tipo de cultura no terreno bem como a sua variação ao longo do tempo (Pimenta, 1999).

No presente trabalho utilizou-se a Carta de Ocupação do Solo (COS) de 2015 da DGT e os valores de C propostos por Pimenta (1999). Com o objetivo de classificar de

forma mais correta e precisa a ocupação do solo utilizaram-se as classes do nível 5 da COS (Figura 36).

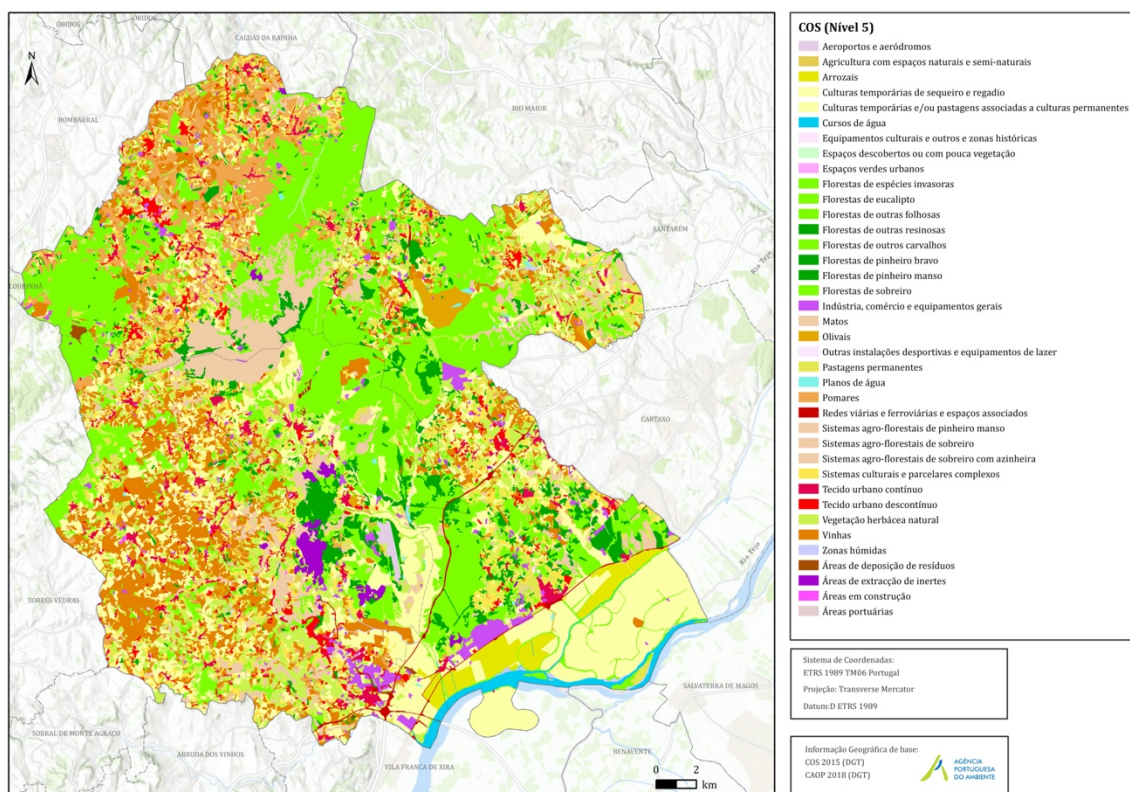


Figura 36 - Carta de Ocupação do Solo (COS 2015) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Relativamente aos valores atribuídos de acordo com Pimenta (1999), estes encontram-se classificados no Quadro 12 e na Figura 37 visualiza-se o resultado desta classificação.

Verifica-se deste modo que os valores do fator C variam entre 0 e 1. Na área em estudo, predomina a classe de valor C de 0,2 com 38,2 % de representatividade (Figura 37) que corresponde a vinhas e florestas de eucalipto e espécies invasoras, localizando-se um pouco por toda a área.

A segunda classe predominante é a que detém o valor de 0,02 com 18,5% de área. Esta corresponde a classes como espaços verdes urbanos, instalações desportivas e equipamentos culturais e de lazer, mas também corresponde às pastagens permanentes, matos e vegetação herbácea natural. Esta classe encontra-se igualmente distribuída por toda a área, mas destaca-se principalmente na Serra de Montejunto pela presença de matos e vegetação herbácea natural.

Quadro 12 - Valores do Fator C (COS 2015)

Tipo de cobertura e uso do solo (Nível 1)	Tipo de cobertura e uso do solo (Nível 5)	Fator C
1 Territórios artificializados	1.1.1.00.0 Tecido urbano contínuo	0,005
	1.1.2.00.0 Tecido urbano descontínuo	0,01
	1.2.1.00.0 Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,01
	1.2.2.00.0 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	0,01
	1.2.3.00.0 Áreas portuárias	0,01
	1.2.4.00.0 Aeroportos e aeródromos	0,01
	1.3.1.00.0 Áreas de extração de inertes	0,5
	1.3.2.00.0 Áreas de deposição de resíduos	0,1
	1.3.3.00.0 Áreas em construção	0,01
	1.4.1.00.0 Espaços verdes urbanos	0,02
	1.4.2.02.0 Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer	0,02
	1.4.2.03.0 Equipamentos culturais e outros e zonas históricas	0,02
2 Áreas agrícolas e agro-florestais	2.1.0.00.0 Culturas temporárias de sequeiro e regadio	0,3
	2.1.3.01.1 Arrozais	0,05
	2.2.1.00.0 Vinhas	0,2
	2.2.2.00.0 Pomares	0,05
	2.2.3.00.0 Olivais	0,1
	2.3.1.01.1 Pastagens permanentes	0,02
	2.4.1.00.0 Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a cultura	0,05
	2.4.2.01.1 Sistemas culturais e parcelares complexos	0,2
	2.4.3.01.1 Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	0,3
	2.4.4.00.1 Sistemas agro-florestais de sobreiro	0,1
	2.4.4.00.4 Sistemas agro-florestais de pinheiro manso	0,1
	2.4.4.00.6 Sistemas agro-florestais de sobreiro com azinheira	0,1
3. Florestas e meios naturais e semi-naturais	3.1.1.00.1 Florestas de sobreiro	0,1
	3.1.1.00.3 Florestas de outros carvalhos	0,1
	3.1.1.00.5 Florestas de eucalipto	0,2
	3.1.1.00.6 Florestas de espécies invasoras	0,2
	3.1.1.00.7 Florestas de outras folhosas	0,1
	3.1.2.00.1 Florestas de pinheiro bravo	0,05
	3.1.2.00.2 Florestas de pinheiro manso	0,05
	3.1.2.00.3 Florestas de outras resinosas	0,05
	3.2.1.01.1 Vegetação herbácea natural	0,02
	3.2.2.00.0 Matos	0,02
	3.3.0.00.0 Espaços descobertos ou com pouca vegetação	0,4
4. Zonas húmidas	4.0.0.00.0 Zonas húmidas	0,01
5 Corpos de água	5.1.1.00.0 Cursos de água	0
	5.1.2.00.0 Planos de água	0

A classe de valor de C de 0,3 ainda é bastante relevante, com 16,7 %, e representa as culturas temporárias de sequeiro e de regadio bem como a agricultura com espaços naturais e seminaturais. Localizam-se principalmente junto ao rio Tejo.

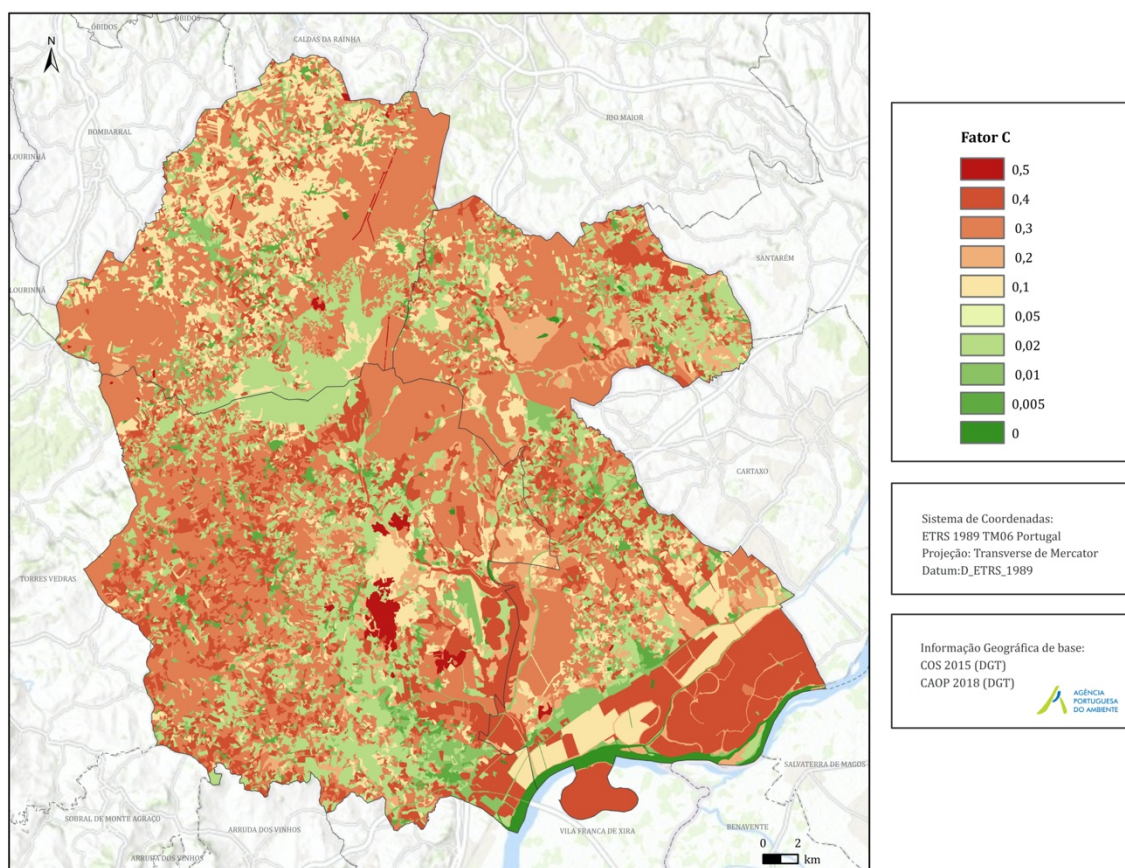


Figura 37 – Fator de uso do solo e coberto vegetal (C) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Quadro 13 – Frequência (%) de cada valor do Fator C

Fator C	Frequência (%)
0	1
0,005	2
0,01	4,4
0,02	18,5
0,05	12,3
0,1	6,1
0,2	38,2
0,3	16,7
0,4	0,1
0,5	0,7

Por sua vez o fator P é um fator antrópico baseado na densidade populacional dos concelhos (hab/km²), segundo a Resolução do Conselho de Ministros nº81/2012, de 3 de

outubro. Assim, com base nos dados do INE, foram definidas 20 classes sendo que variam do valor de 5 a 100 %.

Para os municípios em estudo os valores de P variam de 50 a 60 % (Quadro 14). Sendo que os valores variam entre 0 e 1, tal como o fator C, dividiram-se os valores por 100 (Figura 38).

Quadro 14 - Valores atribuídos ao Fator P

Concelho	Densidade Populacional (hab/ km ²) (2018)	Fator P (%)
Alenquer	143	60
Azambuja	85,1	55
Cadaval	78,4	50

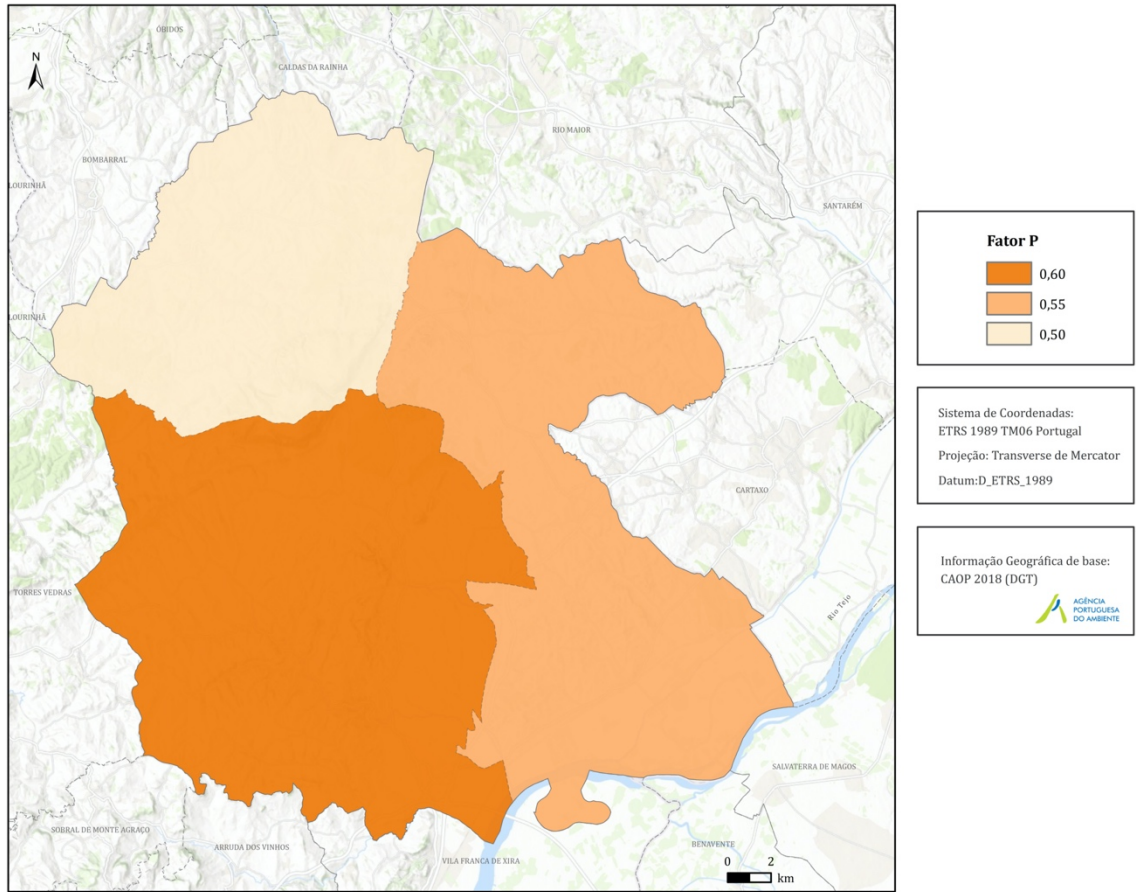


Figura 38 - Fator antrópico (P) baseado na densidade populacional nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

4.2.5. Erosão específica do solo (A) e Perda de Solo Específico (Pse)

Segundo a Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação nº 71/2012, de 30 de novembro, o cálculo de A foi efetuado através da aplicação da seguinte fórmula:

$$A = 2,24 \times \bar{R} \times K \times LS \times C \times P$$

Verifica-se que 25,61 % da área em estudo possui erosão específica do solo média e elevada, ou seja, superior a 25 ton/ha.ano (Figura 39). O relevo tem algum peso quanto ao resultado, pois as áreas com maiores declives são as que possuem valores mais elevados de erosão, destacando-se os municípios de Alenquer e Cadaval. Os valores mais baixos localizam-se em áreas de baixos declives, nomeadamente junto ao rio Tejo onde estão presentes as aluviões, mas também onde não existe solo, áreas sociais e afloramentos rochosos. De referir ainda que nesta metodologia foram aplicados os fatores C e P que acabam também por ter alguma relevância no resultado, dizendo que se trata da erosão hídrica real (EHR).

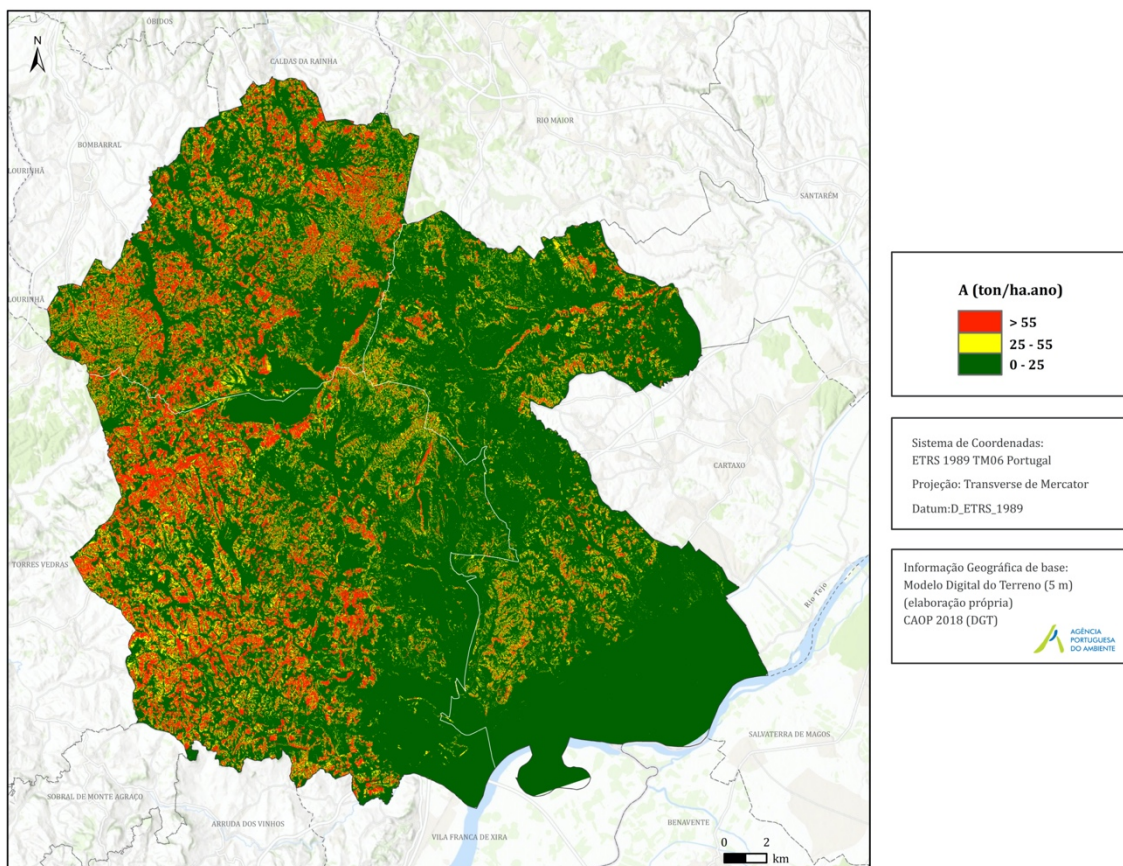


Figura 39 – Erosão Hídrica do Solo Real, segundo a metodologia da Resolução do Conselho de Ministros nº81/2012 nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

A Razão de Cedência dos Sedimentos (SDR) e a Perda de Solo Específico (Pse) são apenas calculados na metodologia da RCM nº81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação nº 71/2012, de 30 de novembro.

Assim, é necessário determinar estes parâmetros (SDR e Pse), tal como descrito no ponto 3.1 (Quadro 6 e página 27).

A partir do mapa de fluxos acumulados gerado anteriormente, calculou-se a área de drenagem, multiplicando-a pela área da célula (25 m²) e posteriormente converteu-se para km². O valor do SDR varia de 0 a 1, sendo que deve assumir o valor de 1 sempre que resulte um valor superior. Neste caso, o valor máximo de SDR é de aproximadamente 3 pelo que foi preciso aplicar a condição seguinte:

$$\text{Con}(\text{"SDR"} > 1,1, \text{"SDR"})$$

A Figura 40 apresenta a Razão de Cedência de Sedimentos (SDR) para a área em estudo.

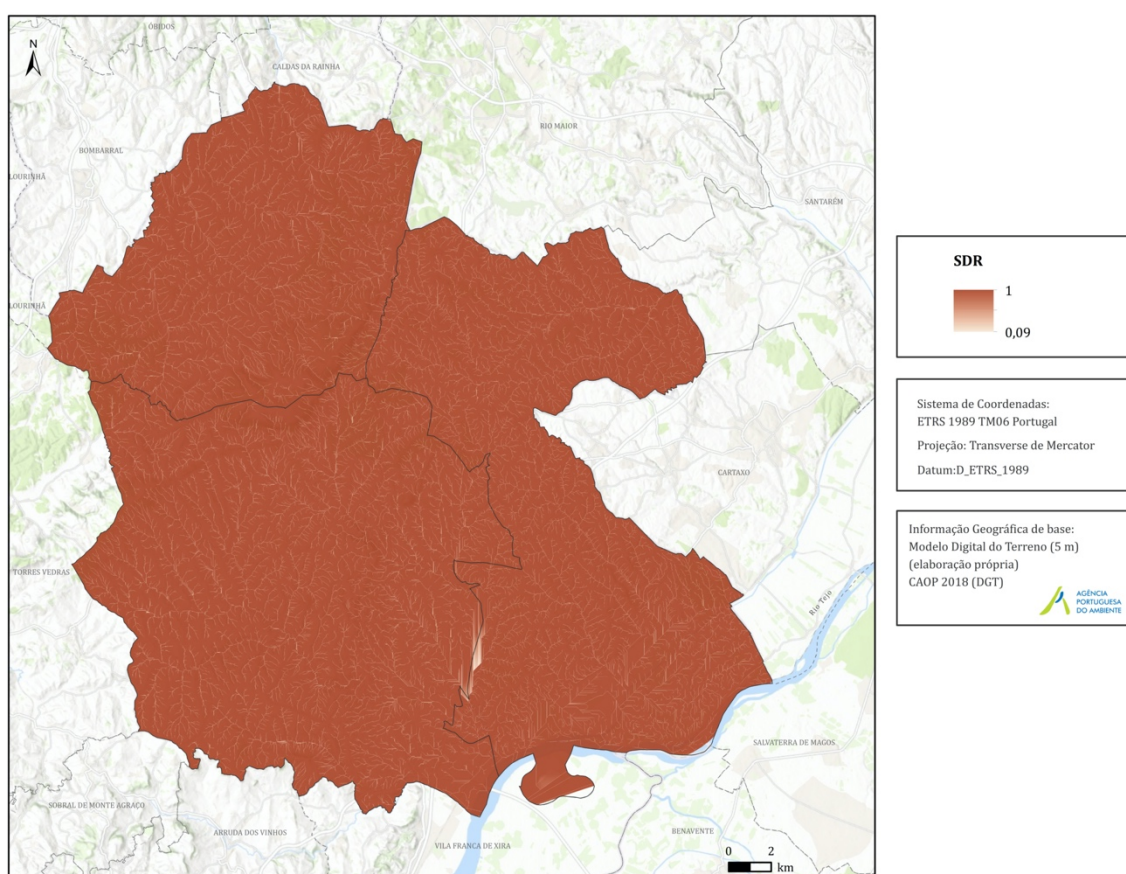


Figura 40 – Razão de Cedência de Sedimentos (SDR) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Na sequência do cálculo da SDR, aplicou-se a fórmula apresentada anteriormente, para determinar a Perda de Solo Específico (Pse).

Verifica-se que os resultados obtidos de Perda de Solo Específico (Figura 41) são idênticos aos de erosão específica do solo (Figura 39), pelo que se constata que a utilização do parâmetro SDR não introduz alterações substanciais nos valores da Erosão Hídrica Específica (A) (Quadro 15).

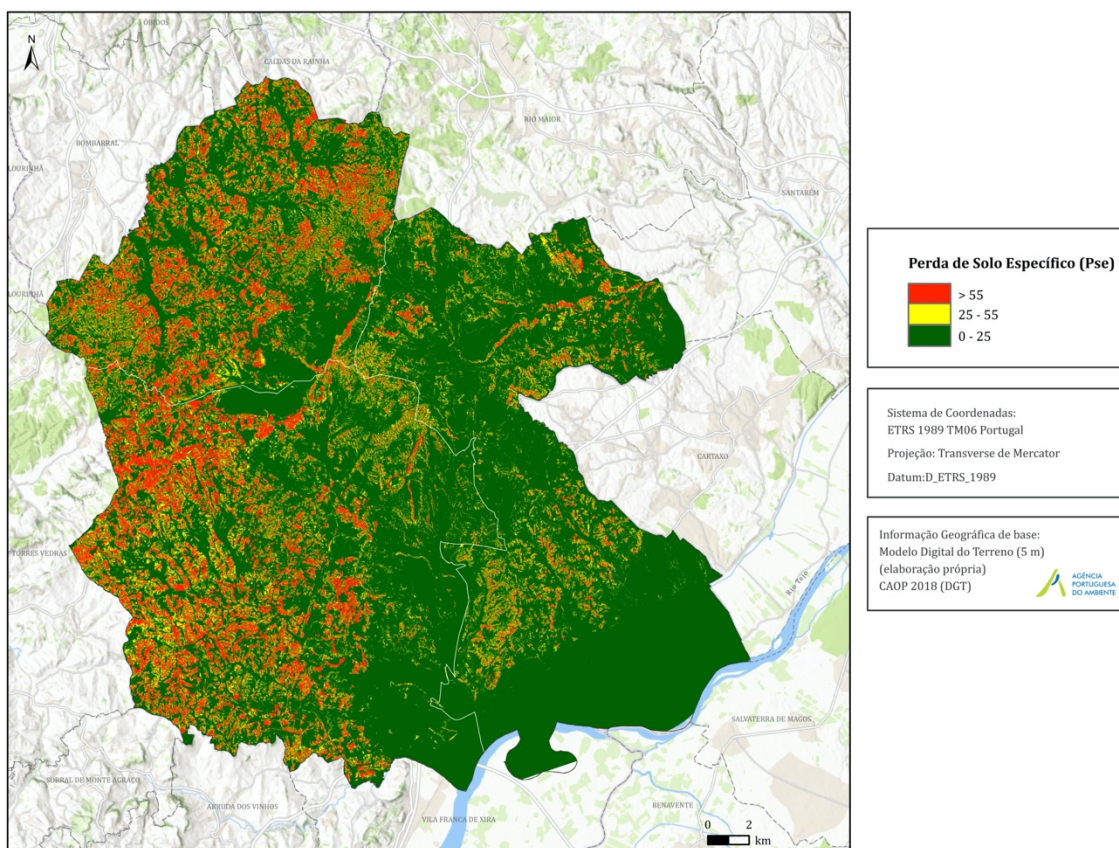


Figura 41 – Perda de solo específico (Pse) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Quadro 15 – Frequência (%) das classes de A (EHR) e Pse

Classes de erosão	Frequência (%) (sem generalização)	
	A	Pse
0 - 25	74,39	74,56
25 - 55	12,41	12,37
> 55	13,2	13,07

4.2.6. Erosão potencial do solo (EPS)

Por sua vez, calculou-se a erosão potencial do solo segundo a Portaria N.º 336/2019 de 26 de setembro, aplicando a expressão seguinte no:

$$A = R \times K \times LS$$

Com esta metodologia que não considera o fator C e P, o resultado obtido de A (Figura 42) é bastante diferente do resultado anterior. Tal como foi referido no resultado apresentado anteriormente, as áreas de maior declive são as que possuem valores mais elevados de erosão, destacando-se no município do Cadaval, a envolvente da Serra de Montejuento. Observa-se, assim, que 18,53 % da área em estudo tem erosão específica do solo elevada (superior a 25 ton/ha.ano), resultados que são relativamente baixos.

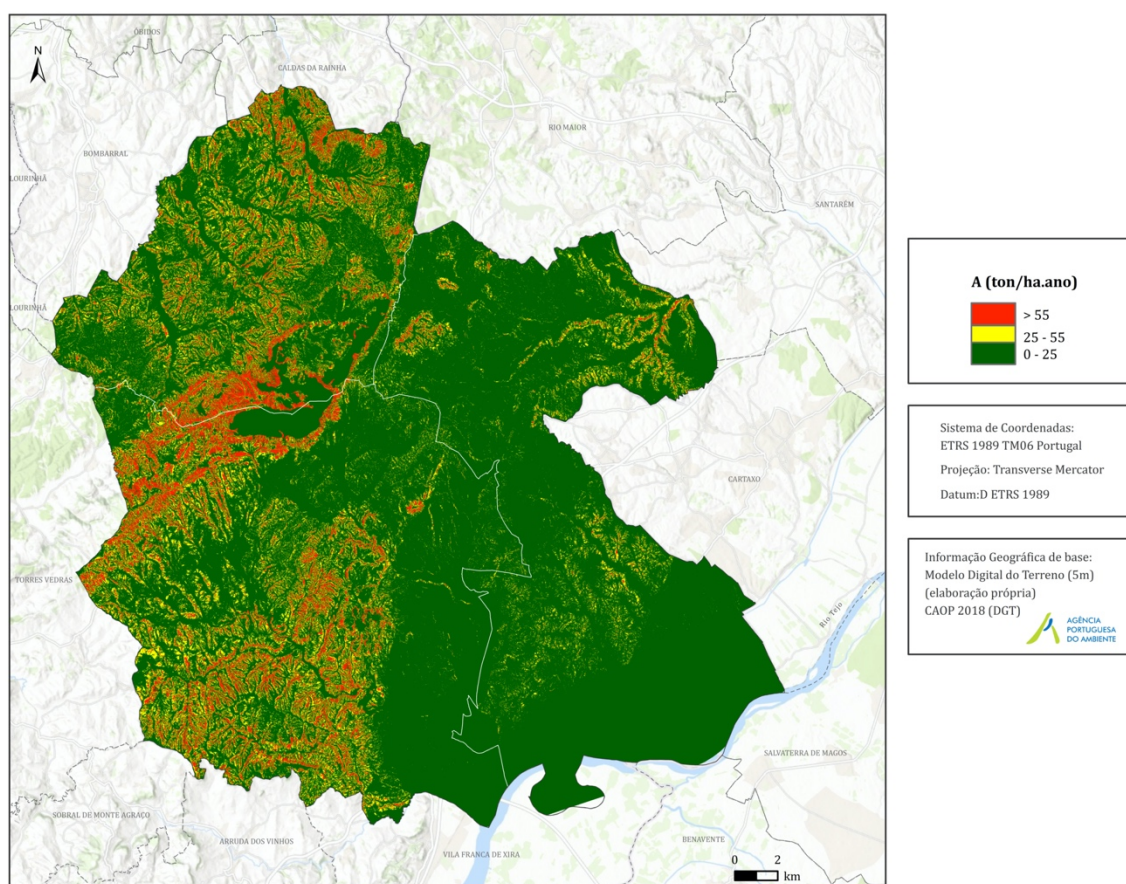


Figura 42 - Erosão Hídrica Potencial do Solo, segundo a metodologia da Portaria N.º 336/2019 nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Quadro 16 – Frequência (%) das classes de A (EHP)

Classes de erosão	Frequência (%) (sem generalização)
0 - 25	81,47
25 - 55	11,22
> 55	7,31

4.2.7. Classificação dos Resultados e Limiares de Corte

Segundo a metodologia descrita na RCM n.º 81/2012, as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo classificam-se de acordo com o Quadro 17, entendendo-se que para efeitos de integração em áreas de REN apenas se consideram as áreas de Pse maior ou igual a 55 ton/ha.ano. Todavia, segundo o Guia Metodológico da CCDR-LVT (2015), consideram-se áreas de REN as que detêm valores iguais ou superiores a 25 ton/ha.ano, ou seja, as de médio e elevado risco.

Igualmente, a Portaria n.º 336/2019, refere que para efeitos de integração em áreas de REN, se deve considerar o limiar de 25 ton/ha.ano como limite máximo de referência de perda de solo admissível. No entanto, menciona que este valor pode ser ajustado para limiares inferiores ou superiores, desde que de forma claramente justificada, de acordo com o contexto territorial.

Quadro 17 - Classificação qualitativa da Perda de Solo Específico

Perda de Solo Específico (Pse) (ton/ha.ano)	Avaliação de Risco
$Pse \geq 55$	Elevado
$25 \geq Pse < 55$	Médio
$0 \geq Pse < 25$	Baixo

Assim, segundo a metodologia Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação nº 71/2012, de 30 de novembro, estão em REN 18 870,59 ha (25,44 % da área em estudo) (Figura 43). E de acordo com a Portaria n.º336/2019, de 26 de setembro, estão em REN 13744,99 ha (18,53 % da área em estudo) (Figura 44).

Cada metodologia utilizou fatores distintos e o limiar de corte de integração das áreas em REN é exatamente o mesmo para ambas (> 25 ton/ha.ano).

Apesar de considerar os fatores C, P e SDR, que contribuem para a redução dos valores de erosão, verifica-se que estes são superiores relativamente aos valores obtidos de acordo com a Portaria n.º336/2019.

A razão para esta situação assenta nas diferenças entre os valores do fator de erosividade da precipitação para as ambos os métodos: no cálculo do Pse (Figura 43) foi utilizado um mapa com variação de 212 a 400 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, mas que se encontra afetado por um fator de conversão igual a 2,24, pelo que, de facto, os valores variam de 475 a 896, enquanto o cálculo da EHP (Figura 44) utiliza uma fonte de informação em que

os valores variam de 90 a 816 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no conjunto dos três municípios analisados.

Obviamente, embora os valores máximos não difiram substancialmente, a distribuição dos valores mais baixos é bastante diferente e, no segundo caso, muito inferiores ao esperado para a área de estudo. Este facto mostra claramente a necessidade de trabalhar no sentido de obter um mapa de erosividade da precipitação com uma distribuição espacial e uma gama de valores que se adeque à realidade do território português.

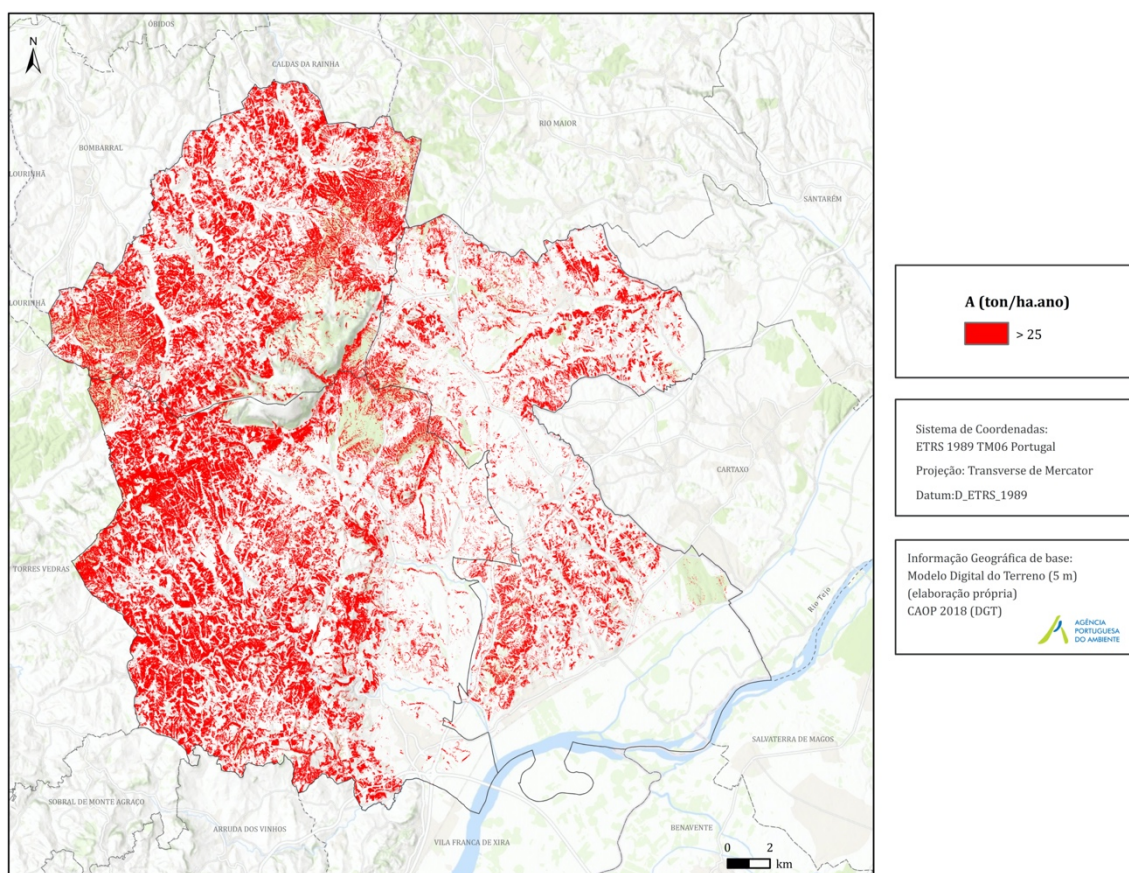


Figura 43 – Áreas a incluir em REN (Perda de solo específico – limiar 25 ton/ha.ano) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

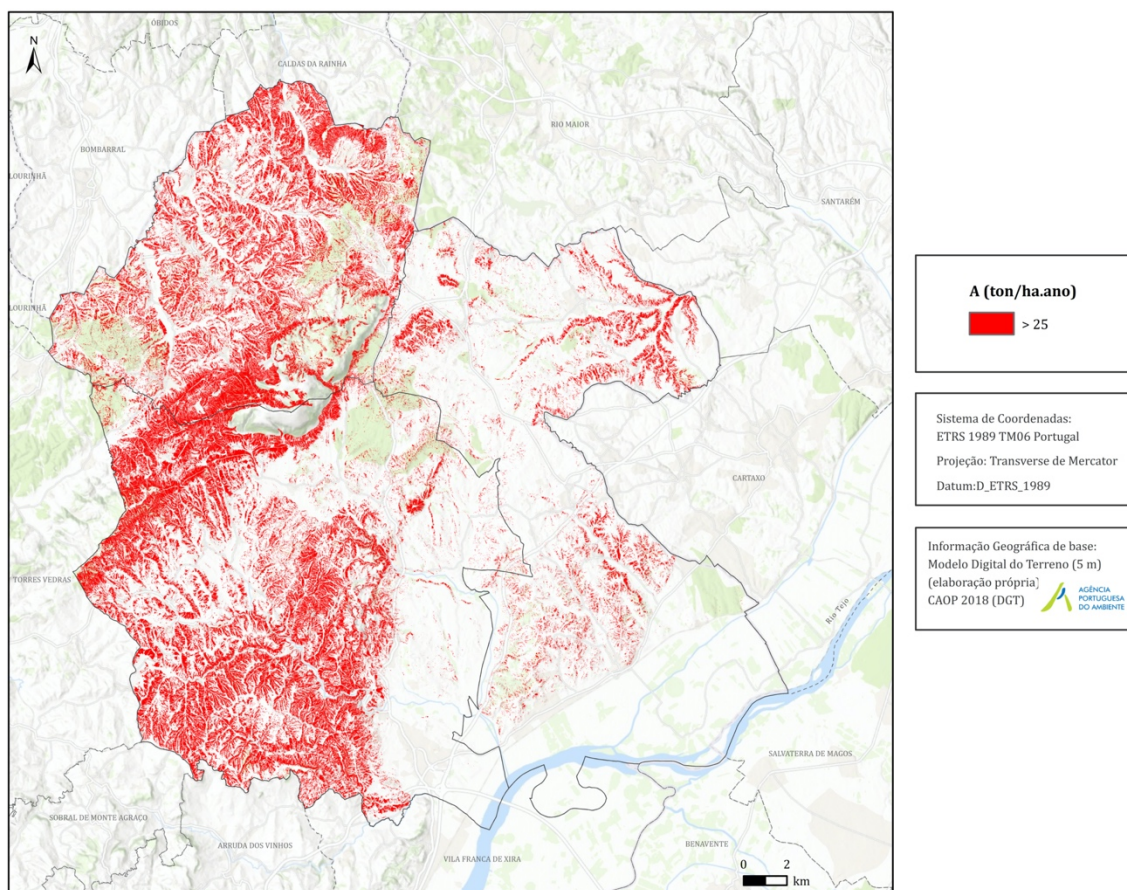


Figura 44 - Áreas a incluir em REN (Erosão Hídrica Potencial do Solo - limiar 25 ton/ha.ano) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Com o objetivo de demonstrar a influência dos limiares de corte nos três municípios em estudo, fizeram-se alguns testes para os valores das duas metodologias utilizadas. Este é apenas um exercício, não querendo sugerir que se tenha de aumentar ou de baixar os limiares de corte.

Partindo do resultado da Erosão Hídrica Potencial (EHP) segundo a metodologia da Portaria n.º336/2019 de 26 de setembro, procurou-se encontrar o limiar que permita obter um resultado próximo ao da Perda de Solo Específico (Pse) da Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro.

Primeiramente, através da tabela de atributos de cada resultado, comparou-se o número de células consideradas na classe do limiar acima de 25 ton/ha.ano entre o resultado do Pse e do EHP. Verificou-se que para o resultado do EHP seja similar ao do Pse, o limiar de corte teria de ser abaixo de 25 ton/ha.ano. Sendo assim, reclassificaram-se os valores com limiares inferiores ao estabelecido, e entre os vários testes efetuados, o resultado mais próximo da Perda de Solo Específico (Figura 43), foi obtido com o limiar de 17 ton/ha.ano (Figura 45).

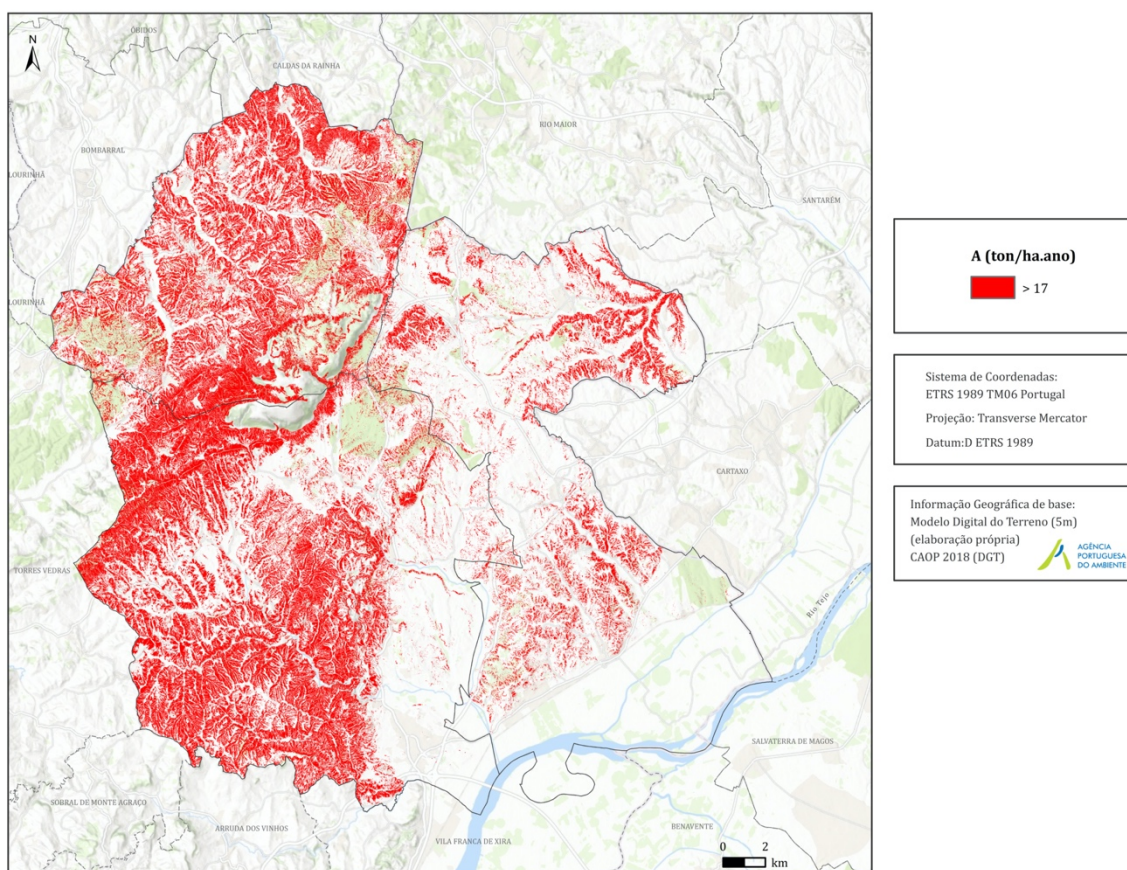


Figura 45 - Área a incluir em REN (Erosão Hídrica Potencial do solo – limiar 17 ton/ha.ano) nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Quer isto dizer que, de acordo com os resultados obtidos nos concelhos da área de estudo, a passagem entre as metodologias incluídas na legislação não foi feita assegurando a necessária alteração do limiar de corte da área a incluir na REN. Utilizando o valor de 25 ton/ha.ano, assiste-se a uma redução da área a incluir na REN, na passagem da legislação de 2012 para a de 2019.

Apesar de se constar que a utilização de diferentes métodos de cálculo tem influência significativa nos valores obtidos, e na consequente área abrangida por esta tipologia da REN, o limiar de corte tem-se mantido estável, em 25 ton/ha.ano, o que revela que a aplicação do modelo a diferentes realidades territoriais não se encontra ainda consolidado.

4.2.8. Generalização das Manchas Resultantes da Erosão Hídrica

Tanto a nível regional como a nível municipal, os resultados obtidos de acordo com cada metodologia demonstram alguma falta de homogeneidade e uniformização. A realidade é que por existirem manchas dispersas com tamanhos muito reduzidos, estas não apresentam uma importância significativa para a delimitação de áreas de REN, tornando mais difícil a implementação de medidas de regulamentação e planeamento no terreno. Por essa razão, o Guia Metodológico da CCDR-LVT sugere que se proceda à generalização dos resultados tendo como referência o valor de área de 1 hectare (CCDR-LVT, 2015).

Deste modo, procedeu-se à generalização dos resultados em quatro partes. Todos os procedimentos foram compostos numa aplicação do ArcGIS, o *modelbuilder* que permite a construção de fluxos de trabalho de geoprocessamento utilizando uma linguagem de programação visual¹⁵.

Inicialmente é necessário identificar as manchas homogêneas (*Region Group*) para que cada uma tenha um código único e posteriormente eliminaram-se as manchas resultantes do cálculo efetuado com área inferior a 1 hectare (*Extract by Attributes*). De seguida, integra-se as manchas com menos de 1 ha que não são erosão hídrica nas manchas anteriores para efeitos de compacidade (*Nibble*) e utiliza-se o filtro *Boundary Clean* para suavizar os limites das manchas (Figura 46).

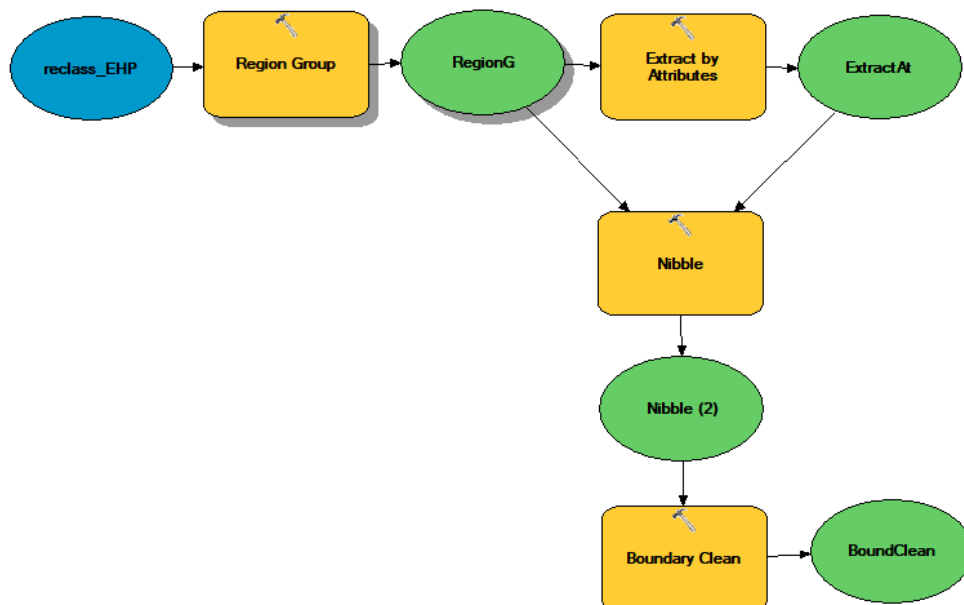


Figura 46 - Modelbuilder: Modelo 1 do processo de generalização

¹⁵ In <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

Após estes passos iniciais, utilizou-se o filtro *Majority Filter*¹⁶ e repete-se este mesmo passo algumas vezes (utilizando o iterator *For*) até não se verificar mais melhorias, neste caso a partir da 5.^a passagem os efeitos do filtro já eram pouco relevantes (Figura 47).

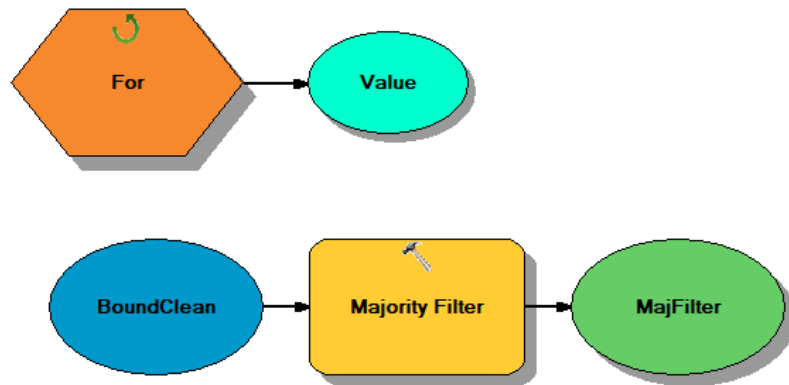


Figura 47 - Modelbuilder: Modelo 2 do processo de generalização

Volta-se a repetir os dois primeiros passos para anular possíveis manchas cujas áreas tenham ficado inferiores a 1 ha, com o resultado dos filtros de generalização (Figura 48).

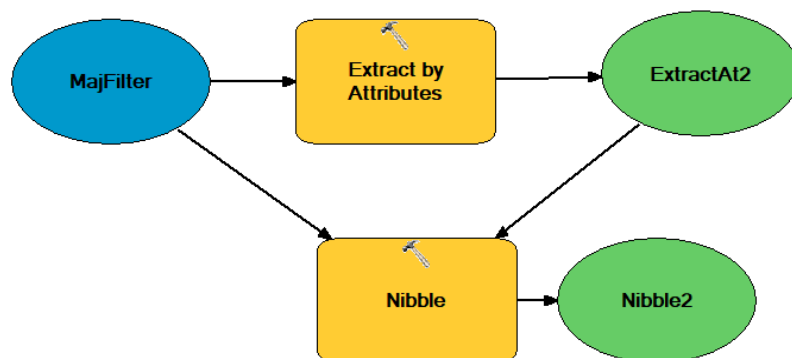


Figura 48 - Modelbuilder: Modelo 3 do processo de generalização

¹⁶ Que substitui as células de uma matriz com base na maioria das células contíguas (In <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/majority-filter.htm>)

Para terminar, reclassificou-se o resultado do 6.º passo com uma classe (*Reclassify*), seguidamente converteu-se o resultado da estrutura matricial (*Raster to Polygon*) para vetorial e suavizou-se os limites através da ferramenta *Smooth Polygon*. Verificou-se uma última vez se ainda existiam manchas com dimensão inferior a 1 ha e retiraram-se no caso de estarem presentes (Figura 49).

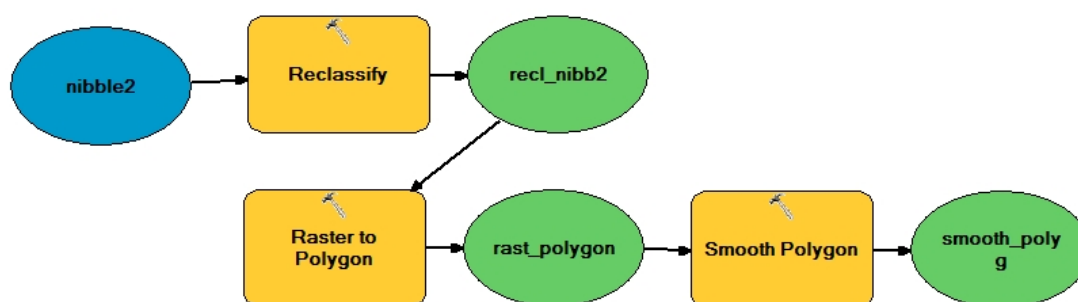


Figura 49 - Modelbuilder: Modelo 4 do processo de generalização

É notória a diferença entre um resultado generalizado (Figura 50 e Figura 51) e não generalizado (Figura 43 e Figura 44). Este é um processo que detém maior relevância na delimitação das áreas de REN pois sendo as áreas mais homogêneas e contínuas, facilita a sua identificação no território. Através do Quadro 18, verifica-se que os resultados generalizados para ambas as metodologias, apresentam maior fração de área a integrar em REN, perda de solo específico com 29,03 % e erosão hídrica potencial com 19,64 %.

Quadro 18 - Comparação dos resultados generalizados e não generalizados (1 ha)

Metodologia	Limiar	Sem Generalização (%)	Com Generalização de 1 ha (%)	Diferenças (%)
Pse	> 25 ton/ha.ano	25,44	29,03	3,59
EHP		18,53	19,64	1,11

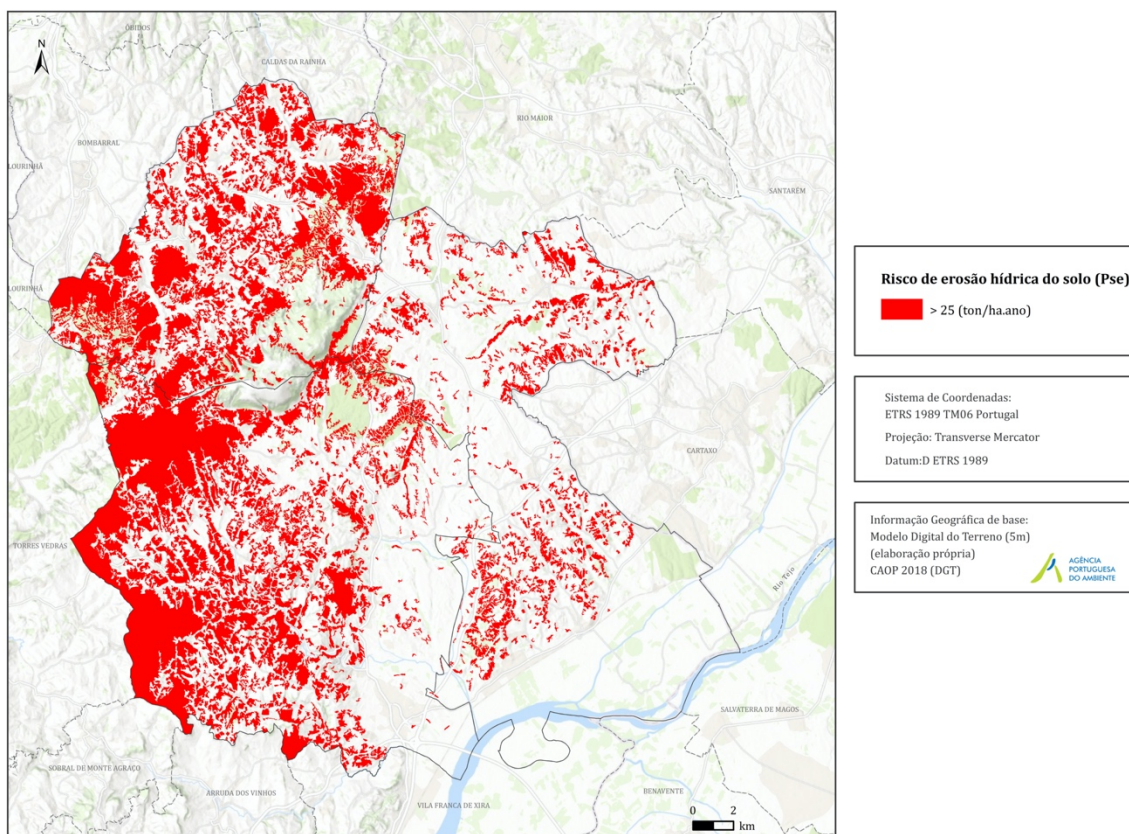


Figura 50 – Generalização da Perda de Solo Específica (Pse) a 1 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

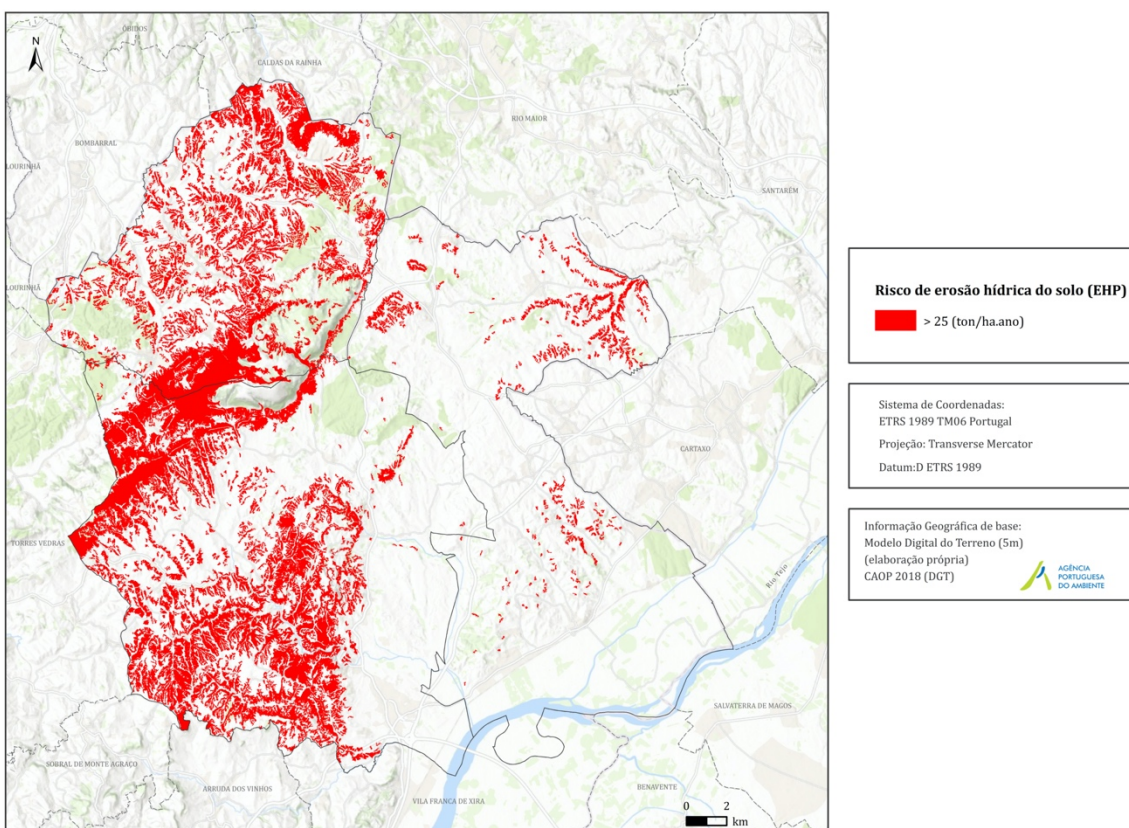


Figura 51 – Generalização da Erosão Hídrica Potencial do Solo (EHP) a 1 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Após vários testes com este método de generalização, procurou-se simplificar a metodologia reduzindo os passos, mas também considerando um valor de generalização inferior a 1 ha, com vista a aproveitar as manchas de menor dimensão na construção do resultado final.

Deste modo elaborou-se um novo processo (Figura 52) aplicando o valor de área de 0,5 ha e algumas ferramentas que foram utilizadas precedentemente. Com este método, não se recorreu ao *modelbuilder* pois existem alguns passos que têm de se realizar manualmente.

O primeiro passo é reclassificar o resultado de erosão potencial do solo (A), neste caso reclassificou-se em duas classes: 0 – 25; > 25 ton/ha.ano, sendo que no fim apenas se consideraram as áreas superiores a 25 ton/ha.ano. De seguida utilizou-se dois filtros de suavização das manchas de erosão hídrica, o *Boundary Clean* e o *Majority Filter* e converteu-se o resultado de *raster* para vetor (polígonos). Após a conversão, calcularam-se as áreas de cada polígono e seleccionaram-se os que têm área inferior a 0,5 ha. Para terminar, com os polígonos seleccionados aplica-se a ferramenta *Eliminate* que tem como função agregar os polígonos com área de 0,5 ha que sejam contíguos aos que detêm área superior a 0,5 ha; caso não seja possível esses mesmos são eliminados.

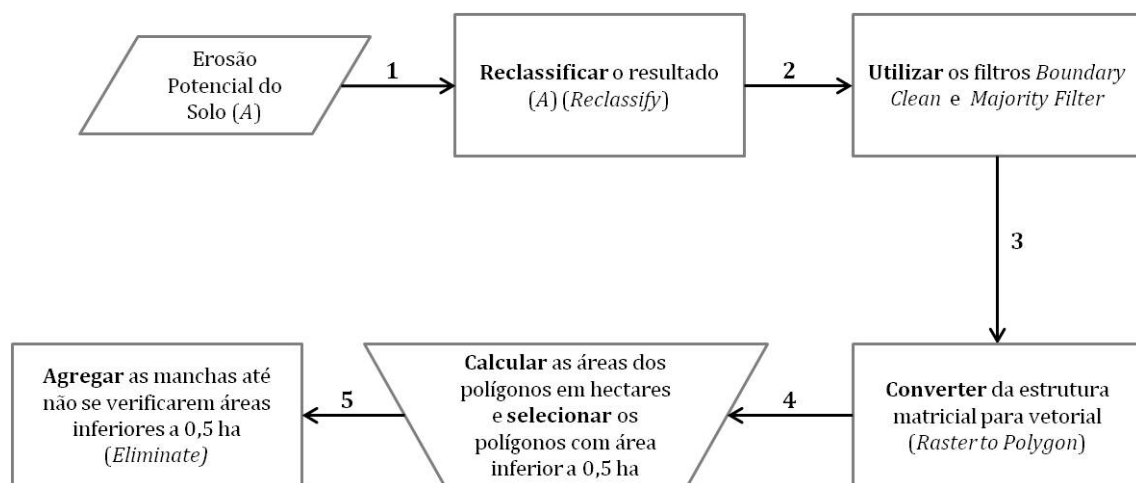


Figura 52 - Fluxograma do processo de generalização considerando o valor de 0,5 ha

Através da Figura 53 e da Figura 54, verifica-se que estas são bastante diferentes dos resultados de generalização anteriores, pelo facto do valor de área ser diferente, mas também pelo processo em si ser diferente. A generalização com área de 0,5 ha aproxima-se muito do resultado sem generalização, tal quer dizer que com este método não se verifica uma generalização “exagerada das manchas” como nos anteriores.

Quadro 19 - Comparação dos resultados generalizados e não generalizados (0,5 ha)

Metodologia	Limiar	Sem Generalização (%)	Com Generalização de 0,5 ha (%)	Diferenças (%)
Pse	> 25 ton/ha.ano	25,44	27,7	2,26
EHP		18,53	20,93	2,4

As diferenças são também visíveis através do Quadro 19, sendo que para ambas as metodologias têm valores de diferença muito parecidos. Os resultados desta metodologia de generalização com valor de área de 0,5 ha, são melhores tendo em conta que as manchas são mais contíguas e homogêneas. Para a metodologia da perda de solo específico, 27,7 % da área total integrar-se-ia em REN e no caso da erosão hídrica potencial seria 20,93 %.

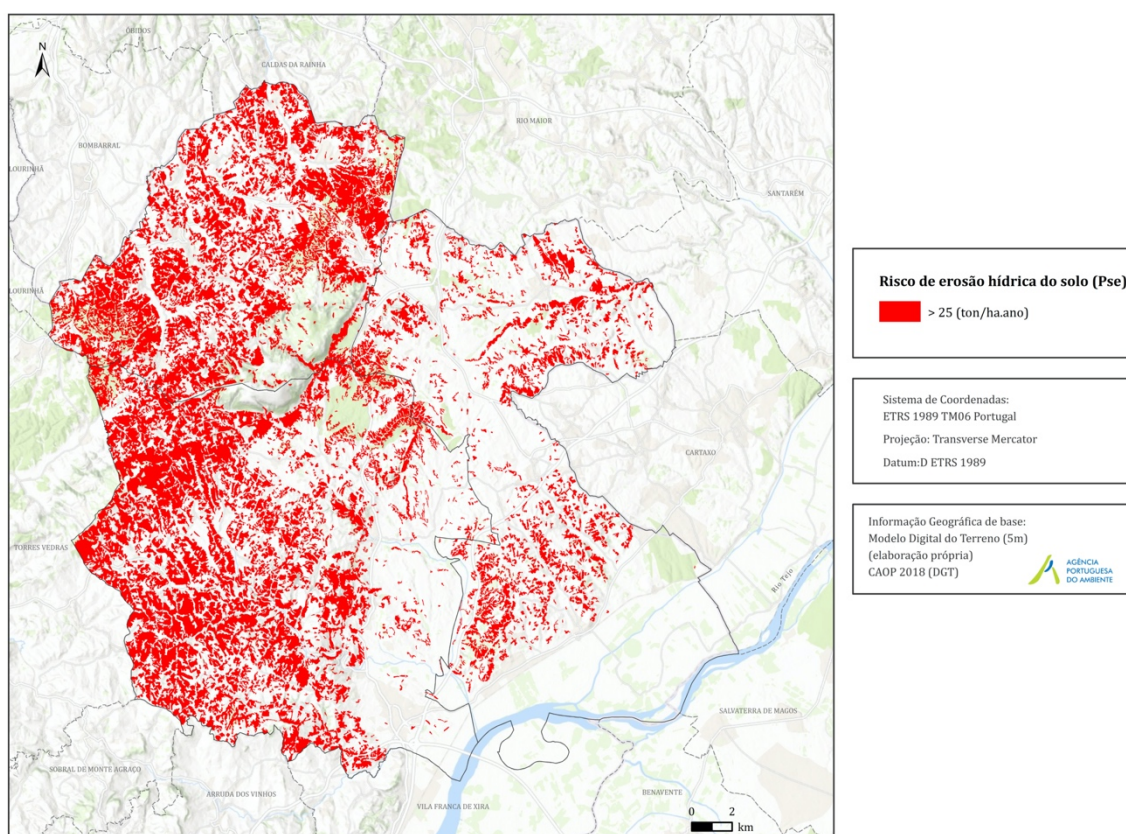


Figura 53 - Generalização da Perda de Solo Específica (Pse) a 0,5 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

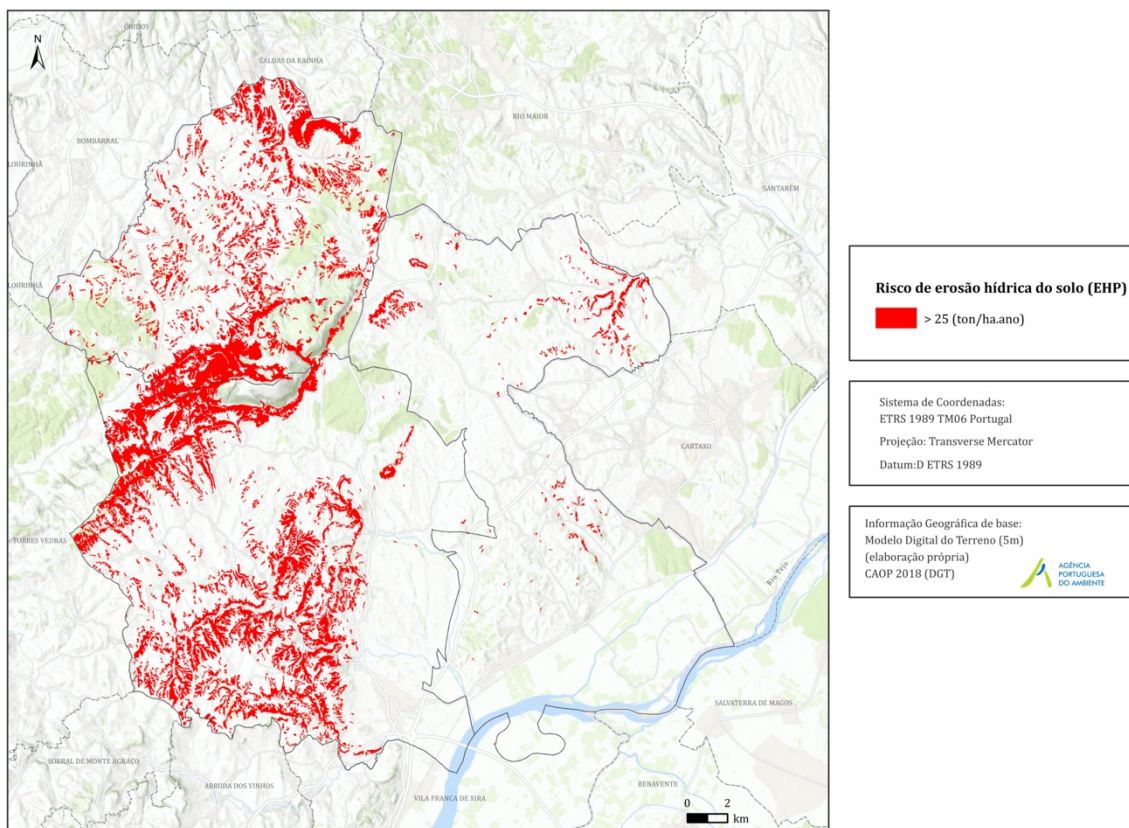


Figura 54 - Generalização da Erosão Hídrica Potencial do Solo (EHP) a 0,5 ha nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

4.2.9. Comparação dos Resultados

Tendo efetuado o cálculo para avaliar as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo com duas metodologias distintas, os resultados são bastante diferentes. De acordo com a Figura 55 e o Quadro 20, as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo (> 25 ton/ha.ano) obtidas com a Perda de Solo Específico (Pse) e a Erosão Hídrica Potencial (EHP) compreendem relativamente, 25,44 % e 18,53 % da área em estudo sendo que se sobrepõe 12,57% do território (9324,04 ha).

Visualmente as maiores diferenças entre as duas metodologias são a concentração e a distribuição espacial das manchas de erosão hídrica (Figura 43 e Figura 44). Na Pse, repara-se que as manchas são bastante concentradas, localizam-se onde os declives são mais acentuados e comparativamente com o resultado da Erosão Hídrica Potencial, o fator de ocupação do solo (fator C) influencia de alguma forma o resultado final. Por outro lado, o EHP apresenta um resultado mais baixo em que as manchas de erosão não são tão concentradas embora também estejam onde os declives são mais elevados.

Quadro 20 - Comparação entre as áreas a integrar em REN segundo as duas metodologias utilizadas (Pse e EHP)

Metodologia	Limiar	Área	
		%	ha
Perda de Solo Específico (Pse)	> 25 ton/ha.ano	25,44	18 870,59
Erosão Hídrica Potencial (EHP)		18,53	13744,99
Área sobreposta entre metodologias		12,57	9324,04

De facto, esperava-se que com os fatores C, P e SDR os resultados fossem mais baixos pois os valores destes fatores variam apenas entre 0 e 1, contudo segundo a Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação nº 71/2012, de 30 de novembro, todos os fatores são multiplicados por uma constante de 2,24. É deste modo a constante que faz a diferença no resultado visto que todos os fatores do processo de cálculo são multiplicados por 2,24 para converter das unidades anglo-saxónicas para unidades do Sistema Internacional (SI), segundo a RCM n.º81/2012, de 3 de outubro.

Relativamente ao resultado da erosão hídrica potencial, esperava-se que os resultados fossem mais elevados do que os do Pse, pois ao retirar os fatores C, P e SDR os valores de erosão atenuam. Entre as duas metodologias aplicadas, a erosão hídrica potencial apresenta resultados mais indicados a médio e longo prazo em termos de ordenamento do território, uma vez que na erosão hídrica real os fatores C e P, são mutáveis demonstrando o risco de erosão apenas no momento dos levantamentos cartográficos.

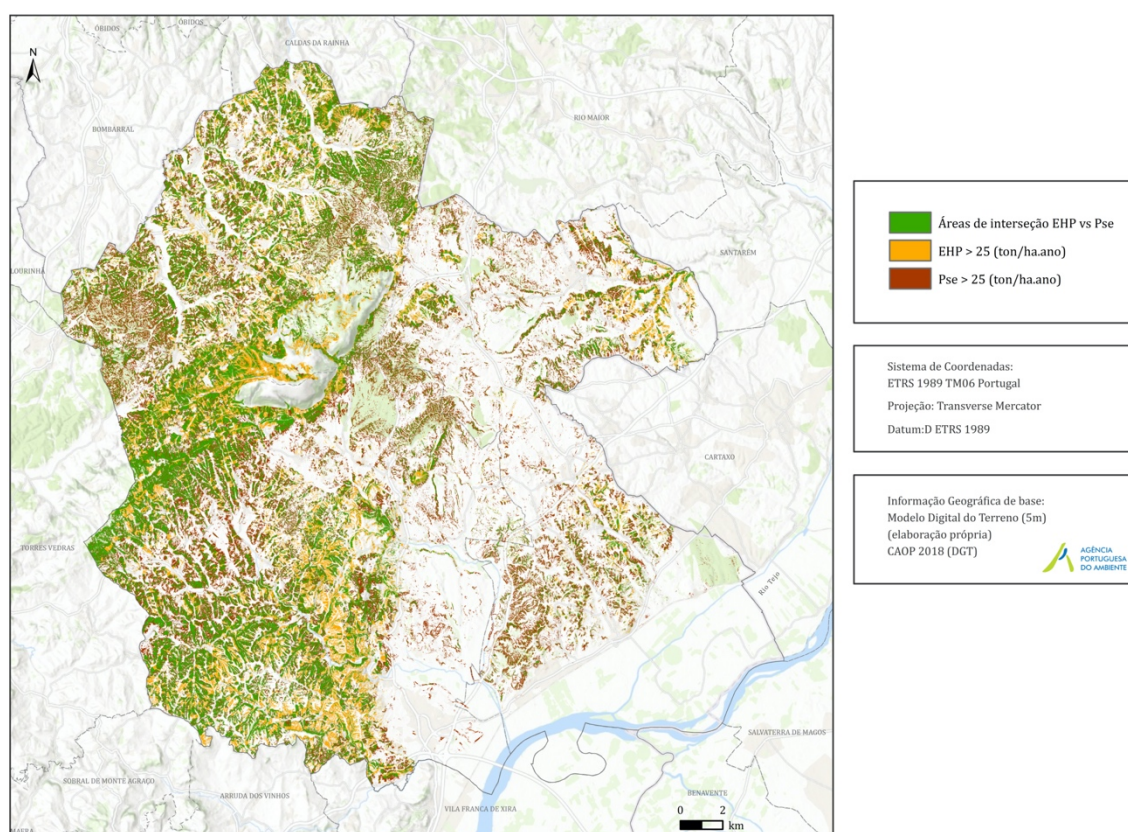


Figura 55 – Comparação entre as áreas a integrar em REN de acordo com as metodologias da RCM n.º81/2012 e a Portaria n.º336/2019 nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

5. Considerações Finais

Constituindo um problema ambiental bastante preocupante, a erosão hídrica é uma das principais ameaças aos solos pelo facto de a degradação do mesmo ser potencialmente rápida.

Ao longo dos anos, tem-se procurado aperfeiçoar as metodologias de delimitação de REN e em especial a tipologia das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo (AEREHS). Como foi referido, a identificação destas áreas é feita pela aplicação da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) para cada município. O método de cálculo não tem sido estável, pois têm tido várias propostas de alterações no cálculo dos parâmetros da USLE e da RUSLE, no contexto da REN, sendo que existe de facto uma limitação quanto à informação que se encontra disponível para efetuar este tipo de cálculo. Deste modo, as fontes de informação não completam os requisitos adequados à escala municipal para o conjunto do modelo.

Os SIG têm um papel fundamental relativamente ao cálculo da AEREHS bem como a outras tipologias de REN e múltiplas áreas. São diversas as ferramentas que se encontram disponíveis para análise, manipulação e visualização da informação em termos espaciais para um entendimento de vários fenómenos.

O presente trabalho apresenta todos os procedimentos de cálculo que foram efetuados segundo as três metodologias utilizadas, a de Monturiol *et al.* (1978) descrita no Quadro de Referência Regional (QRR), a Perda de Solo Específico (Pse) da Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro e por último a Erosão Hídrica Potencial (EHP) da Portaria n.º336/2019, de 26 de setembro, atualmente em vigor. Todas estas metodologias apresentaram várias dificuldades quanto à sua aplicabilidade.

Inicialmente, o problema concentrou-se à volta da informação geográfica de base ao nível municipal, adquirida através das respetivas câmaras municipais, para a criação do Modelo Digital do Terreno (MDT). Ao efetuar a verificação prévia da informação cedida, constatou-se que as curvas de nível não se ligavam entre os municípios escolhidos (Alenquer, Azambuja e Cadaval), tendo sido necessário proceder à sua edição manualmente para que não existissem quaisquer tipos de falhas no MDT criado posteriormente. Assim, verificou-se que por vezes a informação não se encontra pronta a ser trabalhada, daí a verificação ser muito importante neste tipo de trabalho.

Calculou-se as AEREHS a nível regional para a Região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT), com informação de menor escala e duas metodologias distintas, a de Monturiol *et al.* (1978) e a mais recente a Portaria n.º336/2019, sendo que as diferenças entre ambas

são bastantes visíveis, apesar de terem dois fatores em comum (Erodibilidade dos solos e o Declive).

A nível municipal, recorreu-se igualmente a duas metodologias diferentes, a Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º81/2012, de 3 de outubro, retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro que calcula a Perda de Solo Específico (Pse) e Portaria n.º336/2019, de 26 de setembro que determina a Erosão Hídrica Potencial (EHP). As diferenças dos resultados obtidos entre ambas são notórias, sendo que os resultados foram surpreendentes.

Ao calcular o Pse, tendo em conta que se considera os fatores C, P e SDR esperava-se que os resultados fossem relativamente mais baixos do que o resultado do EHP, pois os valores destes variam todos entre 0 e 1. Contudo, na parte final do cálculo do Pse todos os valores são multiplicados por 2,24, que faz a conversão das unidades anglo-saxónicas para unidades do Sistema Internacional (SI), sendo esta mesma que faz com que os valores sejam mais elevados. Por outro lado, os resultados do EHP foram mais baixos do que se esperava, pensou-se que por este método não possuir os fatores C, P e SDR originaria valores de erosão mais elevados.

Deste modo, foi possível efetuar os cálculos de todas as metodologias pretendidas, mas observa-se que utilizando métodos de cálculo diferentes, fontes de informação diferentes, com exceção de uma ou outra, os resultados são diferentes.

O limiar de corte é também um problema que tem levantado diversas questões devido à falta de consenso ao determinar a partir de qual limiar é que se deve inserir em área de REN. São vários os municípios que se têm debatido com situações em que mais de 50% do território detêm áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo.

Através dos resultados obtidos a nível municipal, a perda de solo específico e a erosão hídrica potencial o limiar de corte sempre se manteve igual, considerando as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo com um limiar acima dos 25 ton/ha.ano. Tal não faz muito sentido pois as duas metodologias são distintas, as fontes de informação também são diferentes para além de que uma delas engloba mais três fatores. Porém, na metodologia que se encontra atualmente em vigor, clarificou-se a possibilidade de se poder adotar limiares diferentes de perda de solo. Deve-se, em todo o caso considerar como referência de limite máximo de perda de solo admissível o valor de 25 ton/ha.ano, podendo este valor ser ajustado para limiares inferiores ou superiores tendo em conta as características dos territórios e a proteção dos recursos, devidamente fundamentados com estudos ou trabalhos de campo. Com o objetivo de ir ao encontro do que foi dito anteriormente, realizaram-se alguns testes de limiares, sendo que o limiar a aplicar ao EHP seria de 17 ton/ha.ano, um limiar bastante inferior ao limite máximo estabelecido.

Sendo um processo que detém maior relevância na delimitação das áreas de REN, efetuou-se a generalização das manchas resultantes da erosão hídrica do solo. Utilizaram-se duas metodologias diferentes e valores de áreas também distintos, 1 ha e 0,5 ha. Constatou-se que os resultados obtidos com valor de área de 0,5 ha, são melhores tendo em conta que as manchas são mais contíguas e homogêneas, não se verificando uma generalização “exagerada” das manchas de erosão, comparativamente com os resultados de 1 ha.

Em síntese, a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) levanta sempre várias questões quanto a sua utilidade e relativamente ao facto de existirem irregularidades ou determinados obstáculos na determinação de alguns fatores. Entre as várias metodologias aplicadas, a erosão hídrica potencial apresenta resultados mais indicados a médio e longo prazo em termos de ordenamento do território, uma vez que na erosão hídrica real os fatores C e P, são mutáveis demonstrando o risco de erosão apenas no momento dos levantamentos cartográficos. Ainda assim, é importante a determinação das áreas de elevado risco de erosão hídrica dos solos no contexto da Reserva Ecológica Nacional para efeitos da proteção e conservação dos solos.

Referências

Bibliografia

- Álvares, M. T., & Pimenta, M. T. (1998). *Erosão hídrica e transporte sólido em pequenas bacias hidrográficas*. Atas do 4º Congresso da Água, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos.
- Área Funcional de Engenharia Sanitária. (2012). *Perfil Ambiental da Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo, IP.
- CCDR-LVT. (1998). *Caracterização Física e do Ordenamento do Território da Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. 174 p.
- CCDR-LVT. (2008). *Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo (PROT OVT)*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CCDR-LVT. (2008). *Relatório Sectorial Recursos Geológicos (PROT-OVT)*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CCDR-LVT. (2010). *Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CCDR-LVT. (2015). *Guia Metodológico para a Delimitação da Reserva Ecológica Nacional - Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. Direção de Serviços de Ordenamento do Território.
- CCDR-LVT. (2017). *Relatório sobre o Estado do Ordenamento do Território - Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CNT. (2017). *Recomendação Técnica. Delimitação das Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo*. Comissão Nacional do Território. Obtido de http://cnt.dgterritorio.pt/sites/default/files/Recomendacao_Tecnica_CNT_AERES.pdf
- Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Câmara Municipal de Alenquer. (2016). *Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios do Concelho de Alenquer*. Caderno I, Plano de Ação 2015 - 2019, Informação de base, Gabinete Técnico Florestal.
- Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Câmara Municipal do Cadaval. (Outubro de 2013). *Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios*. Caderno I, Diagnóstico, Informação base.

- Comissão Municipal de Defesa da Floresta, Câmara Municipal de Azambuja . (2016). *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios 2017 - 2021*. Serviço Municipal de Protecção Civil, Gabinete Técnico Florestal.
- Coutinho, M. (2010). *Processos Hidro-Sedimentológicos - Erosão Hídrica*, Instituto Superior Técnico. Obtido de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779576923357/3e4aulaHidraReaFluvial9Mest.pdf>
- DGADR. (2009). *Jornada sobre Protecção do Solo, Resumo das Conclusões*. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Oeiras.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc. (2013). *ArcGis Desktop Help*.
- FAO. (2019). *Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 100 p.
- Ferreira, A., Ferreira, D., Madeiros, C., Moreira, M., Neto, C., & Ramos, C. (2005). *Geografia de Portugal: I – O Ambiente Físico*. Círculo Leitores, Rio de Mouro, 208-216 p.
- Ferro, V., Giordano, G. & Iovino, M. (1991). *Isoerosivity and erosion risk map for Sicily*. Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques .
- Imeson, A., & Curfs, M. (s.d.). *Erosão do Solo. Land Care in Desertification Affected Areas*. (Projeto Lucinda). From Science Towards Application, série do fascículo B, n.º 1, 15 p.
- Irvem, A., Topaloğlu, F., & Uygur, V. (2007). *Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey*. Journal of Hydrology, 336(1-2), 30-37.
- Jenny, H. (1994). *Factors of soil formation. A System of Quantitative Pedology*. Dover Publications, Inc. New York. 191 p.
- Julião, R., Nery, F., Ribeiro, J., Branco, C., M., & Zêzere, J. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil. Lisboa.
- Leguédois, S. (2003). *Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés*. Sciences de la Terre. Université d'Orléans.
- Meneses, B. d. (2011). *Erosão Hídrica dos Solos. Caso de Estudo do Concelho de Tarouca*. Mestrado em Gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., & Iverson, L. R. (1996). *Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS*. International Journal of Geographical Information Systems, 10(5), 629-641.

- Monturiol, F. e colaboradores. (1978). *Cartografía edafológica y capacidad de uso de los suelos de la franja costera de la provincia de Santander*. CDIS, Santander, y CDIS, Madrid.
- Morgan, R. (2005). *Soil erosion and conservation*. Third Edition. National Soil Resources Institute. Cranfield University. 316 p.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015a). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Environmental Science & Policy*, 38-50.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E., Poesen, J., & Alewell, C. (2015b). Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Environmental Science & Policy*, 23 - 34.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015c). *The new assessment of soil loss by water erosion in Europe*. ELSEVIER, *Environmental Science & Policy*, 54, 438-447.
- Parreira, R. (2015). *Avaliação e Caracterização das áreas de desafetação da Reserva Ecológica Nacional nos municípios da região de Lisboa e Vale do Tejo*. Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Pena, S. (2016). *Reserva Ecológica Nacional – Delimitação a Nível Nacional*. Doutoramento em Arquitectura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa.
- Pimenta, M. T. (1995). *Avaliação da Erosão Hídrica em Pequenas Bacias na Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana*. Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Pimenta, M. T. (1998). *Caracterização da erodibilidade dos solos a sul do rio Tejo*. Instituto Nacional da Água (INAG), Lisboa.
- Pimenta, M. T. (1999). *Directrizes para a aplicação da equação universal da perda de solos em SIG: factor de cultura C e o factor de erodibilidade dos solos K*. Instituto Nacional da Água (INAG), Lisboa.
- Pulquério, D. (2015). *Avaliação da suscetibilidade à Erosão Hídrica e a Movimentos de Vertentes no concelho de Ourém*. Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Quino, D. (2017). *Risco de erosão hídrica dos solos na Reserva Ecológica (Madalena, ilha do Pico, Açores)*. Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

- Rahaman, S. A., Aruchamy, S., Jegankumar, R., & Ajeez, S. A. (2015). *Estimation Of Annual Average Soil Loss, Based On Rusle Model Inkallar Watershed, Bhavani Basin, Tamil Nadu, India*. Malaysia: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-2/W2.
- Ramos, C., Zêzere, J., Reis, E., & Mendonça, J. (2009). *Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo Quadro de referência regional*. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa - Departamento de Geografia, CCDR-LVT.
- Ramos, C., Zêzere, J. L., Reis, E., & Mendonça, J. L. (2010). *Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo Quadro de referência regional*. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, CCDR-LVT.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. & Yoder, D.C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook Number 703.
- Roxo, M. (1994). *A acção antrópica na degradação de solos. A Serra de Serpa e de Mértola*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa .
- Roxo, M., & Casimiro, P. (1996). *MEDALUS Mediterranean Desertification and Land Use Estudos sobre Desertificação no Baixo Alentejo Interior - Concelho de Mértola*.
- SSSA - Soil Science Society of America. (1996). *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*. Number 5 in the Soil Science Society of America Book Series. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- SSSA - Soil Science Society of America. (2008). *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Van Beek, C. L., & Tóth, G. (2012). *Risk assessment methodologies of soil threats in Europe*. RC Scientific and Policy Reports EUR, 24097.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a Guide to conservation planning*. Washington D.C.: Department of Agriculture Handbook, N.º 537, United States Department of Agriculture.
- Zachar, D. (1982). *Soil Erosion, Developments in Soil Science 10*. Forest Research Institute. ELSEVIER Scientific Publishing Company. 549 p.

Legislação

Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho. Diário da República n.º 152 – I Série. Cria a Reserva Ecológica Nacional

Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março. Diário da República n.º 65 – I Série. Revê o Regime Jurídico da REN, estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho.

Decreto-lei n.º 213/92, de 12 de outubro. Diário da República n.º 235 – I Série. Altera o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março (REN).

Decreto-lei n.º 180/2006, de 6 de setembro. Diário da República n.º 176 – I Série. Altera o regime instituído pelo Decreto-lei n.º 93/90, de 19 de março.

Decreto-lei n.º 166/2008, de 22 de agosto. Diário da República n.º 162 – I Série. Aprova o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional e revoga o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro. Diário da República n.º 192 – I Série. Aprova as Orientações Estratégicas de âmbito nacional e regional que consolidam as orientações para a delimitação de áreas integradas na REN.

Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro. Diário da República, 1.ª série, n.º 232. Retifica a Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, da Presidência do Conselho de Ministros, que aprova as orientações estratégicas de âmbito nacional e regional.

Decreto-lei n.º 239/2012, de 2 de novembro. Diário da República n.º 212 – I Série. Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto.

Despacho n.º 7714/2013, Diário da República 2.ª série, n.º 113. Criação de Unidades flexíveis.

Decreto-lei n.º 124/2019, de 28 de agosto. Diário da República, 1.ª. Série, n.º 164. Altera o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional.

Portaria n.º 336/2019, de 26 de setembro. Diário da República, 1.ª. Série, n.º 185. Aprova a revisão das Orientações Estratégicas Nacionais e Regionais previstas no Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional.

Anexos

Quadro A 1 - Valor de erodibilidade atribuído a cada tipo de solo existente nos municípios de Alenquer, Azambuja e Cadaval

Símbolo	Descrição	K (SI)
A	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura mediana	0,039
Aa	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura pesada	0,025
Aac	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Calcários, (Para-Solos Calcários), de textura pesada	0,045
Ac	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Calcários, (Para-Solos Calcários), de textura mediana	0,045
Al	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura ligeira	0,017
Alc	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Calcários, (Para-Solos Calcários), de textura ligeira	0,017
Ap	Solos Podzolizados - Podzóis (Não Hidromórficos), Sem Surraipa, Normais, de areias ou arenitos	0,020
Aph	Podzóis Hidromórficos, Sem Surraipa, de areias ou arenitos	0,020
Apr	Solos Podzolizados - Podzóis (Não Hidromórficos), Sem Surraipa, Para-Solos Litólicos, de materiais arenáceos pouco consolidados	0,008
Arb	Afloramento Rochoso de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas afins	0,000
Arc	Afloramento Rochoso de calcários ou dolomias	0,000
Arct	Afloramento Rochoso de arenitos calcários	0,000
Art	Afloramento Rochoso de arenitos	0,000
As	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Moderada, de Aluviões, de textura mediana	0,018
Asa	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Moderada, de Aluviões, de textura pesada	0,018
Asac	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Moderada, de Aluviões, de textura pesada, calcários	0,007
Asc(i)	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Moderada, de Aluviões, de textura mediana, calcários	0,028
Asl(i)	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Moderada, de Aluviões, de textura ligeira	0,028
Aslc	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Moderada, de Aluviões, de textura ligeira, calcários	0,018
ASoc	Áreas Sociais	0,000
Assa(i)	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Elevada, de Aluviões, de textura pesada	0,020
Assac(i)	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Elevada, de Aluviões, de textura pesada, calcários	0,001
Assc(i)	Solos Halomórficos - Solos Salinos, de Salinidade Elevada, de Aluviões, de textura mediana, calcários	0,018
At	Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura mediana	0,033
Ata	Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura pesada	0,019
Atac	Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos e de Solos de Baixas	0,042
Atc	Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Calcários, (Para-Solos Calcários), de textura mediana	0,042
Atl	Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura ligeira	0,005
Ba	Barros Pardos, Não Calcários, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos	0,030
Bac	Barros Pardos, Calcários, Muito Descarboxatados, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos, calcários	0,030
Bc	Barros Pardos, Calcários, Não Descarboxatados, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos, calcários	0,030

Bca	Barros Pardos, Calcários, Pouco Descarbonatados, de arenitos argiloso, argilas ou argilitos, calcários	0,030
Bp	Barros Pretos, Não Calcários, de dioritos ou gabros ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas	0,033
Bpc	Barros Pretos, Calcários, Muito Descarbonatados, de dioritos ou gabros ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas, associados a calcário friável	0,033
Bvc	Barros Castanho-Avermelhados, Calcários, Muito Descarbonatados, de dioritos ou gabros ou rochas cristalofílicas básicas associados a calcário friável	0,035
Ca	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura mediana	0,039
Caa	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura pesada	0,039
Caac	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura pesada, calcários	0,039
Cac	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura mediana, calcários	0,039
Cal	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura ligeira	0,039
Cb	Barros Castanho-Avermelhados, Não Calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas	0,035
Cbc	Barros Castanho-Avermelhados, Calcários, Não Descarbonatados, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associados a calcário friável	0,042
Cp(a)	Barros Pretos, Calcários, Pouco Descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou de grés argilosos calcários ou margas	0,030
Cpc	Barros Pretos, Calcários, Não Descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou de grés argilosos calcários ou margas	0,033
Ec	Solos Incipientes - Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de calcários compactos ou dolomias	0,055
Et	Solos Incipientes - Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de outros arenitos	0,028
Kb	Solos Mólicos - Castanozemes, (Não Argiluvitados), Normais, de basaltos ou outras rochas eruptivas básicas	0,015
Kr	Solos Mólicos - Castanozemes, (Não Argiluvitados), Rendzinas, descarbonatadas	0,015
Kvcd	Solos Mólicos - Castanozemes, Argiluvitados, Vermelhos ou Amarelos, de calcários compactos ou dolomias	0,015
Lb	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, de basaltos, doleritos ou outras rochas eruptivas básicas	0,041
Lpt	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, pardos de arenitos finos e grosseiros inter-estratificados	0,066
Lvt	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, vermelhos de arenitos finos e grosseiros inter-estratificados	0,066
Mnt	Solos Litólicos, Húmicos, Câmbicos, Normais, de arenitos grosseiros	0,011
Mnto(a)	Solos Litólicos, Húmicos, Câmbicos, Normais, de arenitos finos micáceos	0,011
Mt	Mistura de terras não calcárias	0,032
Pa	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de depósitos argiláceos não consolidados	0,030
Pac	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos de Materiais Calcários, Para-Barros, de margas ou calcários margosos ou de calcários não compactos associados com xistos, grés argilosos, argilitos ou argilas ou de grés argilosos calcários (de textura franca a franco-argilosa)	0,032
Paco	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários (de textura franco-argilosa a argilosa)	0,046
Pag	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa ou franco-arenosa)	0,027
Pagc(a)	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	0,027
Pago	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos (de textura franca a franco-argilosa)	0,046

Pao	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos	0,046
Par	Solos Litólicos, Não Húmicos Pouco Insaturados, Normais, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa a franco-arenosa)	0,030
Pat(a)	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de arenitos argilosos	0,046
Patc	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	0,046
Pato	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos	0,046
Pbd	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de basaltos ou doleritos	0,067
Pc	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de calcários não compactos	0,033
Pc'	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de calcários não compactos associados a dioritos, ou gabros, ou rochas eruptivas, ou cristalofílicas básicas, ou de materiais afins	0,031
Pca	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de formações argiláceas associadas a depósitos calcários	0,033
Pcd	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Litossolos, de calcários compactos (travertinos)	0,030
Pcdc	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Litossolos, de outros calcários compactos	0,034
Pcs	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de margas ou materiais afins	0,037
Pcs'	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de margas ou materiais afins	0,038
Pcsd	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de margas e calcários compactos inter-estratificados	0,038
Pcsd'	Solos Calcários, Pardos, dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de margas e calcários compactos inter-estratificados	0,038
Pcst	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico Normais, de margas e arenitos finos inter-estratificados	0,038
Pcst'	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de margas e arenitos finos inter-estratificados	0,038
Pct	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários	0,033
Pcz	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Barros, de margas ou calcários margosos ou arenitos calcários	0,027
Pdc	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins associadas a depósitos calcários	0,033
Pdg	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins	0,027
Pl	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, pardos, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura franco-arenosa a franca)	0,077
Pmcd	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de calcários duros	0,036
Ppr	Podzóis, (Não Hidromórficos), Com Surraipa, com A2 incipiente, de materiais arenáceos pouco consolidados	0,029
Ppt	Podzóis, (Não Hidromórficos), Com Surraipa, com A2 incipiente, de ou sobre arenitos	0,020
Pt	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, de arenitos finos micáceos (de textura arenosa a franco-arenosa)	0,055
Ptc(a)	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de arenitos finos calcários (de textura franco-arenosa a franca)	0,053
Pto	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, pardos, de arenitos finos micáceos (de textura franco-arenosa a franca)	0,077
Ptr	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, de materiais arenáceos finos micáceos não consolidados	0,077
Pvb	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de basaltos ou doleritos	0,084
Pvd	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Normais, de material coluviado dos solos da	0,039

	Família Vcd	
Pz	Podzóis, (Não Hidromórficos), Com Surraipa, com A2 bem desenvolvido, de areias ou arenitos	0,029
Pzh	Podzóis, Hidromórficos, Com Surraipa, de areias ou arenitos	0,011
Rg	Regossolos Psamíticos, Normais, não húmidos	0,002
Sag	Solos Hidromórficos, Sem horizonte Eluvial, Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados, de rochas detríticas argiláceas	0,032
Sb	Solos Incipientes - Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura mediana	0,036
Sba	Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura pesada	0,041
Sbac	Solos de Baixas (Coluviosolos, Calcários, (Para-Solos Calcários), de textura pesada	0,041
Sbc	Solos de Baixas (Coluviosolos), Calcários. (Para-Solos Calcários), de textura mediana	0,036
Sbl	Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura ligeira	0,031
Sbu	Solos Incipientes - Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, Húmicos, de textura mediana	0,031
Spbd(a)	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de material coluviado dos solos da Família Pbd	0,067
Spc'	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de materiais coluviados de solos calcários	0,031
Spcs'	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de materiais coluviais de margas	0,038
Srt	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de arenitos arcóicos ou arcoses	0,041
Srth	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos arcóicos ou arcoses	0,073
Svc'	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de materiais coluviados de solos calcários	0,056
Va	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de depósitos argiláceos não consolidados (de textura franca a franco-argilosa)	0,033
Vac	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de rochas detríticas argiláceas calcárias	0,028
Vac'	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de rochas detríticas argiláceas calcárias	0,029
Vag(a)	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos argilosos ou rochas afins (de textura arenosa a franco-arenosa)	0,073
Vagc(a)	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	0,046
Vago	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos (de textura franca a franco-argilosa)	0,046
Val	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de depósitos de textura mediana não consolidados	0,073
Vao	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Para-Barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos	0,046
Vatc	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	0,046
Vato	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos (de textura franco-argilosa a argilosa)	0,084
Vc	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de calcários	0,037
Vc'	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de calcários não compactos, associados a dioritos ou gabros ou rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas, ou de materiais afins	0,034
Vcd	Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Normais, de calcários compactos ou dolomias	0,039
Vcdc	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Para-Litossolos, de	0,036

	calcários compactos associados a calcários brandos	
Vcm	Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de margas ou calcários margosos	0,020
Vcmo	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	0,046
Vcsd	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de margas e calcários duros margosos inter-estratificados	0,038
Vcsd'	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de margas inter-estratificadas associadas a calcários compactos	0,056
Vcst	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de margas e arenitos inter-estratificados	0,038
Vcst'	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de margas e arenitos inter-estratificados	0,056
Vct	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários	0,050
Vdc	Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins associadas a depósitos calcários	0,033
Vdg	Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Para-Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins	0,033
VI	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura franco-arenosa a franca)	0,030
Vmcd	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de calcários duros	0,046
Vt	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados Normais, de arenitos grosseiros	0,030
Vtc	Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de outros arenitos	0,020
Vto	Solos Litólicos, Não Húmicos Pouco Insaturados, Normais, avermelhados, de arenitos finos micáceos (de textura franco-arenosa a franca)	0,022